

Corps d'état secondaire



Master Mécanique et ingénieries, spécialité Génie civil,
architecture et construction

Enseignant : Franck Taillandier
franck.taillandier@u-bordeaux.fr

Chapitre 1 : Introduction

I) Organisation et objectif du cours

Ce cours a pour but de donner aux étudiants une culture technologique concernant les différents CES intervenant dans la construction de bâtiment. Le cours abordera les aspects techniques (prescription réglementaire, technologie, matériaux, techniques de construction...) concernant :

- Les menuiseries
- Le cloisonnement intérieur : séparation, distribution, isolation
- Les revêtements de sols
- Les peintures et finitions
- L'isolation et l'étanchéité
- L'électricité
- L'éclairage
- La ventilation
- Le chauffage et la climatisation
- Le réseau d'eau

Il traitera aussi des aspects organisationnels (logistique, planning, coordination...), financiers et environnementaux liés aux corps d'état secondaires.

II) Projet

Contexte : vous êtes responsable d'une entreprise de CES ou de GO et vous devez répondre à un appel d'offre. A vous de faire l'offre la plus intéressante, c'est à dire, celle qui peut passer en vous assurant le meilleur bénéfice et dans le temps le plus court.

Opération : Construction d'une maison individuelle à Gradignan.

Objectif : Il faut réaliser une offre composée de :

- Description des choix techniques
- Dimensionnement des éléments mis en œuvre
- Devis détaillé
- Planning détaillé
- Maquette numérique sous Revit

Organisation :

Travail en groupe de 6 étudiants :

Chaque étudiant est en charge d'un lot. Chaque entreprise est indépendante mais l'offre sera globale et devra rester cohérente entre les lots.

- **Lot 1 :** Gros-œuvre
- **Lot 2 :** Menuiserie
- **Lot 3 :** Plâtrerie et peinture et revêtement de sol
- **Lot 4 :** Electricité et éclairage
- **Lot 5 :** Plomberie, Chauffage/ECS/Ventilation
- **Lot 6 :** Aménagement extérieur

Rendu : à rendre avant le 1^{er} décembre minuit

Rappel : l'enjeu est de faire l'offre la plus intéressante. Elle doit être la moins chère tout en répondant véritablement au marché et en étant réaliste pour votre entreprise (pas de chantier à perte)

Offre :

Maison construite à Gradignan. Cette maison est destinée à une famille de 2 adultes et 2 enfants.

N'étant pas dans le cadre d'un marché public, il n'y a pas de CCTP. En revanche, le propriétaire a des exigences :

- Maison de plain-pied à ossature bois (poteau/poutre)
- Entre 100 et 120m²
- 3 chambres, salle de bain et toilettes séparées, cuisine ouverte sur le séjour
- Terrain de 600m² rectangulaire (20m*30m)
- 1 garage pour deux voitures (en plus des 100/120m²)
- Chauffage/ECS bois (poêle chaudière granulé)
- Bardage bois
- Couverture : ardoise
- Consommation énergétique Chauffage + ECS < 20 kWh/m².an
- Acoustique : respect des recommandations de Saint-Gobain (voir document joint)
- Temps de réverbération <1,5s quelle que soit la pièce.
- Menuiseries bois
- Eclairage demandé :
 - 80 lux minimum pour les chambres
 - 120 lux minimum pour le séjour/hall
 - 150 lux pour les pièces d'eau
 - 150 lux pour les escaliers

Informations supplémentaires : route de catégorie 2 à 50m sans écran entre la route et la maison (zone C de bruit).

Lot 1 : Gros-Œuvre

- Terrassement & Fondation (bonne portance du terrain ; fondations superficielles)
- Dalle
- Poteau et poutre
- Charpente
- Remplissage des murs (matériau au choix)

Lot 2 : Menuiserie

- Pose des fenêtres
- Pose des portes intérieures et de la porte extérieure
- Pose des meubles de cuisine
- Pose des plinthes (dans toutes les pièces)
- Pose du parquet (si parquet il y a)

Quelques exigences :

- Volets électriques

Lot 3 : Plâtrerie, peinture et revêtement de sol

- Pose des cloisons
- Mise en place des faux-plafonds
- Pose des isolants
- Réalisation des étanchéités
- Réalisation des bardages (parement pierre de bordeaux sur les ailes et fibrociment gris sur la partie centrale).
- Réalisation des peintures
- Préparation des sols (sous-couches/chape)
- Mise en place des revêtements de sol

Lot 4 : Electricité et éclairage

- Pose du compteur (réalisé par ERDF)
- Passage des câbles (saigné dans les murs)
- Installation du réseau téléphone/ADSL
- Mise en place des sorties (prises, interrupteur, douilles...)
- Mise en place des luminaires

Lot 5 : Plomberie, Chauffage/ECS et Ventilation

- Installation des tuyaux
- Installation des équipements (dont baignoire) salle de bain et cuisine
- Installation du poêle chaudière à bois (chaudière alimentée par un poêle à bois)
- Installation des radiateurs et du réseau d'eau
- Mise en œuvre d'une ventilation double-flux ; le renouvellement d'air doit être conforme à la réglementation.

Lot 6 : Aménagement extérieurs

- Gazon sur la parcelle
- Haie en bordure
- Arbres : 1 figuier, 1 saule pleureur, 1 olivier
- Coin potager (20 m2)
- Piscine en sol 10m*4m2
- Chemin entre sortie de la parcelle et porte d'entrée
- Terrasse bois

III) Définition

Il n'y a pas de consensus sur la définition précise et sur les éléments qui sont intégrés dans les corps d'état secondaires. On pourra dire que les corps d'état secondaires recouvrent l'ensemble des travaux réalisés à l'intérieur d'un bâtiment. Ils s'opposent aux travaux de gros œuvres qui ont trait à la structure. Le terme est à rapprocher de corps d'état techniques, bien que ceux-ci puissent un peu diverger...

Ils regroupent par exemple :

- Menuiseries
- Peintures et finitions
- Cloisonnement intérieur
- ...

Ils font l'objet de différents documents :

- DTU (Document technique unifié) : normes, règles de calcul...
- Lois et réglementation
- Labels
- Dans le cadre d'un marché : DCE (dossier de consultation des entreprises) et notamment le CCTP (cahier des clauses techniques particulières)

Il y a plusieurs façons d'aborder ce domaine : technique, organisationnelle, par acteur, etc.

Objectif : acquérir une culture de base dans le domaine

Chapitre 2 : Approche technique

Nous allons aborder, dans un premier temps, les différents éléments qui composent les corps d'état secondaires, par l'aspect technique en les parcourant un à un. On étudiera successivement :

- Menuiseries (portes et fenêtres)
- Cloisonnement intérieur
- Isolation
- Revêtement de sol
- Electricité
- Plomberie
- Peintures et finitions

I) Menuiserie

I.1) Généralités

Le terme menuiserie désigne divers ouvrages en bois de dimensions limités, destinés à compléter le gros œuvre d'un bâtiment ou à réaliser son agencement intérieur. Par extension, les petits ouvrages en métal sont désignés par extension menuiseries métalliques.

On distingue les menuiseries intérieures et extérieures

Les menuiseries extérieures comprennent les éléments permettent d'obstruer le passage de l'air entre intérieur et extérieur ; il s'agit principalement des portes et des fenêtres.

Les menuiseries intérieures comprennent l'ameublement ainsi que les ouvrants (portes, fenêtres) séparant les locaux intérieurs.

La menuiserie fait intervenir différents corps de métiers :

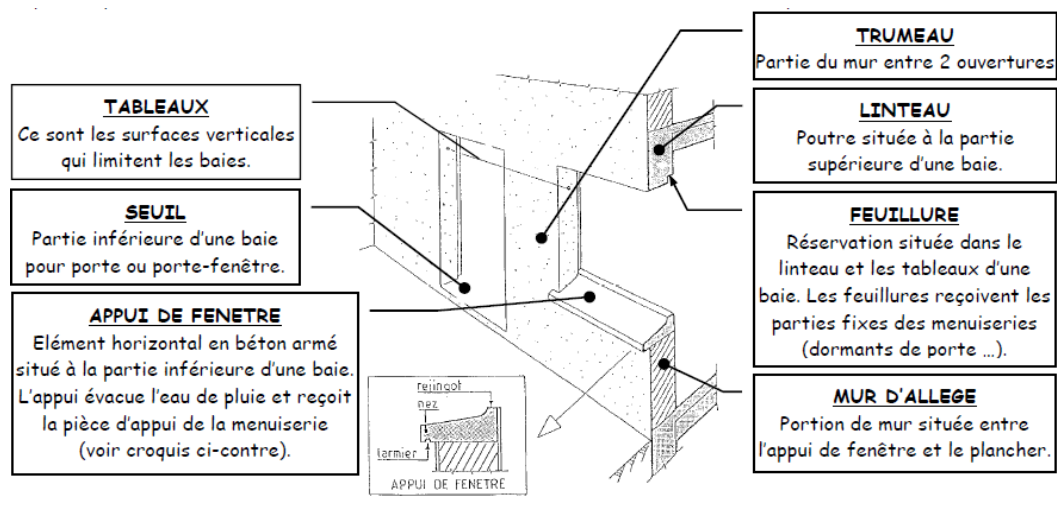
- **Charpentier** : réalise la charpente et autrefois les escaliers et parquets (qui sont maintenant plutôt dévolus au menuisier)
- **Menuisier** : réalise les fermetures souvent mobiles, opaques ou non, destinées à combler les ouvertures
- **Ebéniste** : réalise les meubles

La menuiserie comprend aussi les escaliers en bois (escaliers intérieurs), les parquets et certains meubles (type placards). Nous reviendrons sur les parquets dans la partie sur les revêtements de sol. Nous ne parlerons pas plus dans ce cours des escaliers et des meubles, bien qu'ils puissent avoir une certaine importance dans les bâtiments.

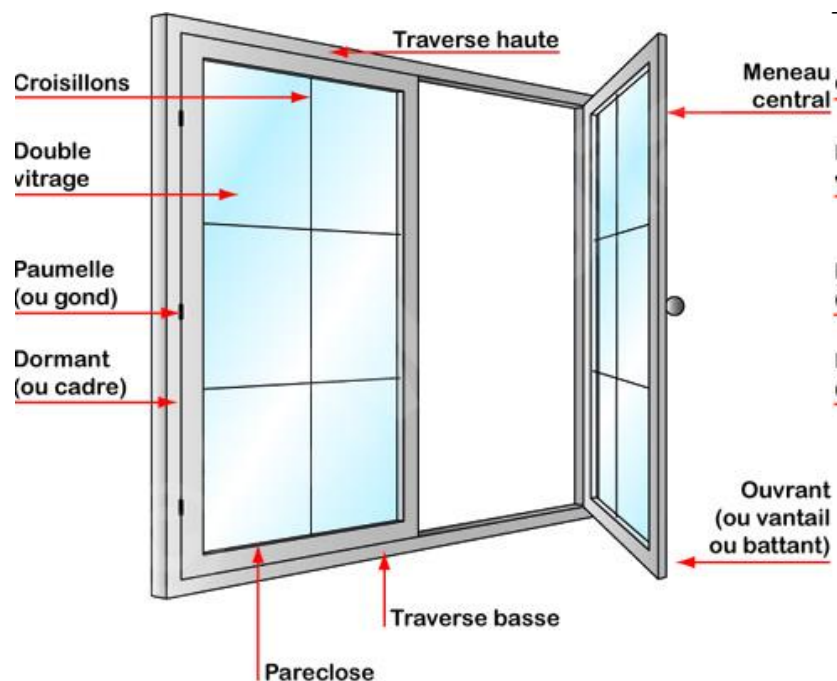
I.2) Fenêtres

I.2.1) Terminologie

Les termes associés à la baie sont :



Les termes associés à la fenêtre sont :

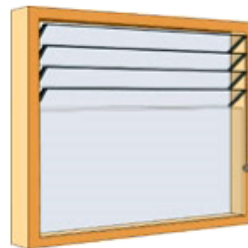


On trouve de nombreux type de fenêtre, qualifiés en fonction du type d'ouvrant. En voici des exemples (la liste n'est pas exhaustive) :

fenêtre à la française



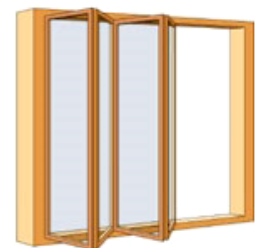
fenêtre à jalousies

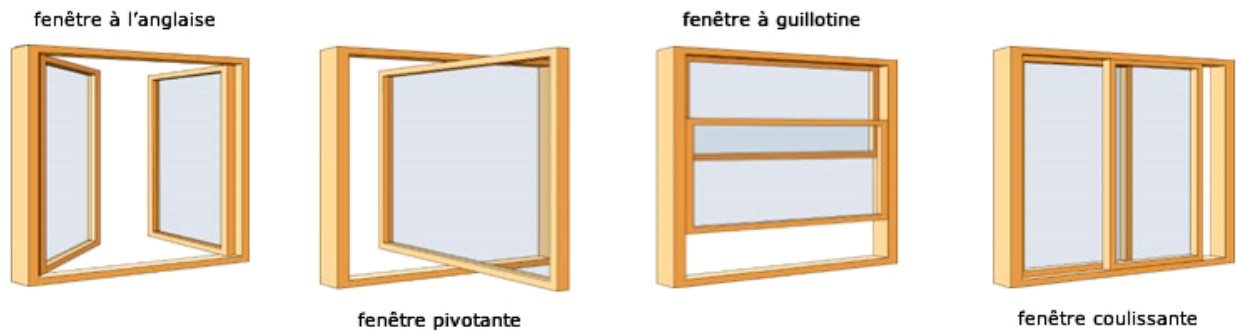


fenêtre basculante



fenêtre en accordéon





1.2.2) Matériaux

Les menuiseries (hors visserie) sont généralement dans l'un des matériaux suivants :

- **Bois (environ 50% du marché)** : c'est le matériau traditionnel de menuiserie. Il exige un entretien régulier (2 ans pour une lasure, 5 ans pour une peinture ou un vernis). Il propose de bonnes propriétés d'isolation thermique et acoustique.
- **Aluminium (30% du marché)** : matériau surtout utilisé pour les fenêtres basculantes et coulissantes de grandes dimensions. L'aluminium a un coefficient de conductivité thermique bien plus important que le bois (défavorable), mais la finesse des montants favorisent les apports solaires. On peut aussi ajouter des isolants en résine pour améliorer leur résistance thermique. C'est en tout cas un matériau léger, résistant, d'entretien facile et proposant un bon niveau de finition, expliquant sa popularité.
- **Matières synthétiques (20% du marché)** : il s'agit principalement d'un mélange à base de PVC obtenu par extrusion, thermoformage, moulage ou par injection. Insensible à la corrosion, ces profilés nécessitent peu d'entretien. Ils présentent d'excellents coefficients d'isolation thermique et acoustique. Mais ils présentent un coefficient de dilatation thermique élevé, et leur rendu n'est pas toujours apprécié.

Les surfaces transparentes sont généralement en verre.

Verre : le verre est utilisé pour toutes les surfaces transparentes. C'est évidemment ce qui en fait un matériau indispensable aux fenêtres et portes fenêtres. Il y a peu d'alternatives en la matière, proposant des qualités équivalentes en termes de résistance mécanique, de durabilité et de qualités visuelles.

Calfeutrement : les produits de calfeutrement (joint) sont utilisés pour suppléer différentes fonctions, en particulier :

- Participer à l'étanchéité entre ouvrant et dormant
- Étanchéité du vitrage
- Étanchéité entre le gros œuvre et la menuiserie

Il s'agit de profils extrudés à partir de caoutchouc ou de mélanges élastomères ainsi que de mastics pâteux

1.2.3) Propriété des fenêtres

Les exigences liées aux fenêtres sont :

- Éclairage par la lumière naturelle
- Contact visuel entre extérieur et intérieur
- Suppression du sentiment de claustrophobie
- Ensoleillement intérieur (apport solaire)
- Aération et ventilation du local
- Confort thermique
- Confort acoustique

- Confort d'ambiance (éclairage et intimité)
- Etanchéité à l'air et l'eau
- Sécurité et sûreté des occupants
- Facilité de nettoyage et d'entretien

I.2.3.1) Eclairage

L'éclairage naturel est considéré comme la meilleure source d'éclairage (ambiance et économie d'électricité). Il faut en général donc maximiser l'éclairage naturel. Toutefois, cela tend à augmenter les risques d'éblouissement. Dans les locaux de travail notamment, on cherche souvent à limiter l'éclairage direct gênant le champ visuel. Il est nécessaire alors de mettre en place des dispositifs mobiles de protection (volet, persienne...).

I.2.3.2) Thermique de la fenêtre

Trois coefficients à considérer :

- Facteur solaire (FS)
- Facteur lumineux (TL)
- Facteur thermique (U)

Plus TL est grand

- Moins grande est la consommation d'éclairage électrique
- Plus l'éclairage naturel est agréable
- Mais plus grand sont les risques d'éblouissement

Plus U est petit

- Plus les déperditions thermiques seront petites
- Plus la surface intérieure est chaude, plus le confort thermique en hiver est important

Plus FS est petit

- Plus les besoins de climatisation en été sont faibles
- Moins les risques de surchauffe dus à l'effet de serre sont grands
- Moins la lumière naturelle pénètre dans le local

On peut retenir :

- Souvent l'éclairage est corrélé avec les apports solaires. Ceux-ci sont intéressants l'hiver, en revanche, il faut chercher à les minimiser l'été.
- Plus le nombre de vitrages est important plus l'isolation est bonne
- La résistance thermique augmente avec la largeur de la lame d'air (jusqu'à une certaine limite)
- Mais cela a un impact négatif sur le coût, l'énergie grise, le dimensionnement des châssis...
- On peut remplacer l'air de la LA par d'autres gaz comme de l'Argon pour améliorer les caractéristiques (thermiques) de la fenêtre

Exemple de valeurs pour un châssis en bois :

Coefficient U (W/m².K):	Châssis en Bois
Simple vitrage :	5,2
Double vitrage (LA : 50 mm)	2,4
Double vitrage (LA : 30 mm)	2,5
Triple vitrage (LA : 2x12)	2

1.2.3.3) Perméabilité à l'air, à l'eau et résistance au vent

Les fenêtres sont classées selon leur perméabilité à l'air (A), leur perméabilité à l'eau (E) et leur résistance au vent (V). Ces caractéristiques sont définies dans la norme P 20-302 ; elles sont issues de mesures en laboratoire dans des caissons reproduisant les effets du vent et de la pluie. La qualité des joints est essentielle pour assurer une bonne imperméabilité des fenêtres. Il est à noter qu'une trop grande imperméabilité peut poser un problème en termes de ventilation naturelle des locaux. Il peut être alors nécessaire de prévoir un système de ventilation mécanique. L'étanchéité à l'eau dépend aussi de la forme des profiles. Les formes ayant des arrêtes vives s'opposent plus efficacement au cheminement de l'eau.

1.2.3.4) Isolation acoustique

Les façades et toitures doivent aussi assurer une certaine isolation acoustique (Norme SIA 181). Tous les éléments constitutifs des façades et toitures vont contribuer à l'isolation acoustique. Ce sont les éléments de gros œuvre qui vont apporter en général l'essentiel de l'isolation. Il faut veiller alors aux points faibles qui peuvent être préjudiciables à la qualité globale de l'isolation des bruits provenant de l'extérieur :

- Menuiseries
- Défaut d'étanchéité à l'air (joints, liaisons entre couches...)
- Défauts de mise en œuvre

Le choix d'un vitrage doit s'effectuer en fonction du niveau sonore maximal intérieur acceptable selon l'occupation du local. La capacité à empêcher la transmission des sons aériens est évaluée par son indice d'affaiblissement acoustique pondéré noté R_w (en dB). C'est la masse surfacique des verres qui détermine l'indice d'affaiblissement acoustique. L'étanchéité des menuiseries et des ouvrants est aussi un facteur important.

Ordre de grandeur :

- Simple vitrage : $R_w = 27$ dB
- Double vitrage : $R_w = 35$ dB (juste parce qu'il y a plus de verre, la lame d'air n'a aucune incidence)
- Double fenêtre : $R_w = 50$ dB

I.3) Garde corps

Les fenêtres situés à un étage supérieur au rez-de-chaussée doivent disposer de garde corps (disposer directement au droit de la fenêtre ou aux bords du balcon le cas échéant) afin d'assurer la sécurité des occupants. Les normes NFP 01-012 et NFP 01-013 précisent les hauteurs à respecter (en général entre 80cm et 1 m à partir du plancher, selon l'épaisseur du garde corps)

Article R*111-15 du code de la construction :

Aux étages autres que le rez-de-chaussée :

- a) Les fenêtres autres que celles ouvrant sur des balcons, terrasses ou galeries et dont les parties basses se trouvent à moins de 0,90 mètre du plancher doivent, être pourvues d'une barre d'appui et d'un élément de protection s'élevant au moins jusqu'à un mètre du plancher
- b) Les garde-corps des balcons, terrasses, galeries, loggias, doivent avoir une hauteur d'au moins un mètre ; toutefois, cette hauteur peut être abaissée jusqu'à 0,80 mètre au cas où le garde-corps a plus de cinquante centimètres d'épaisseur. Les fenêtres situés à un étage

supérieur au rez-de-chaussée doivent disposer de garde corps (disposer directement au droit de la fenêtre ou aux bords du balcon le cas échéant) afin d'assurer la sécurité des occupants.

Les matériaux utilisés pour réaliser les gardes corps sont variés. Ceux que l'on retrouve le plus souvent sont les métaux (acier, fonte, aluminium) et le bois. L'une des qualités principales du garde corps est sa résistance mécanique, assurant une bonne sécurité des utilisateurs. En tant qu'élément de façade, les aspects esthétiques des garde-corps sont aussi souvent primordiaux (expliquant par exemple le choix de la fonte).

Il est à noter que ce ne sont souvent pas les menuisiers qui ont la charge de la mise en place des garde-corps. Cela peut poser des problèmes d'interface entre les différents intervenants.

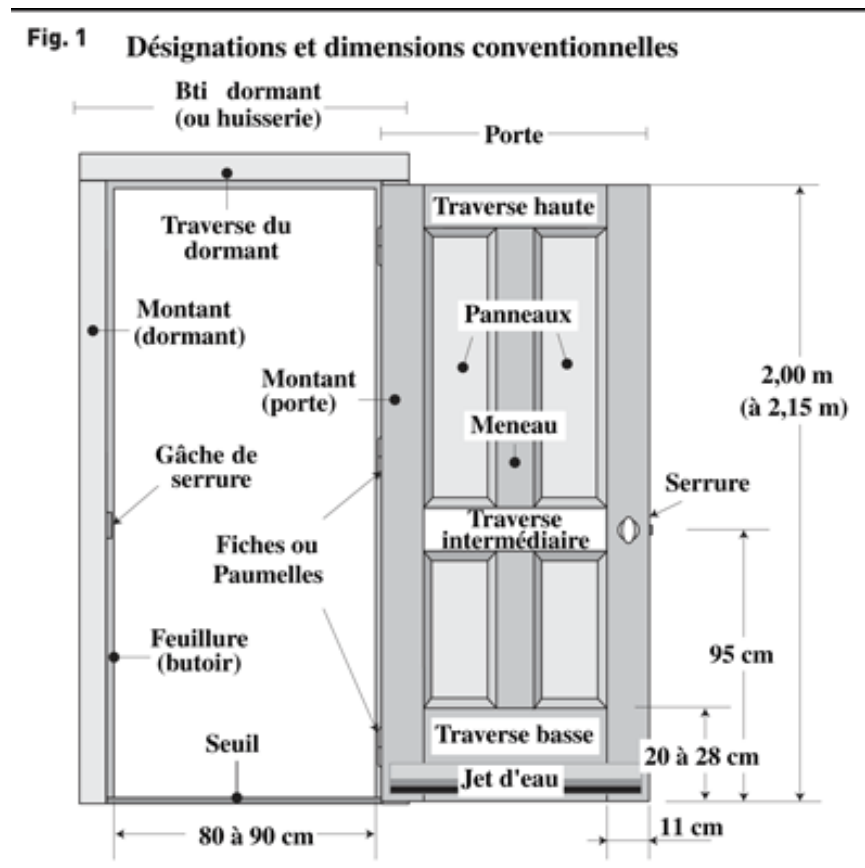
I.4) Porte

Avec les fenêtres, les autres éléments de menuiserie extérieure (ou intérieure) importants sont les portes. Les caractéristiques dimensionnelles sont données par la norme NP 01-015.

Les principales qualités exigées sont :

- L'aspect
- L'isolation thermique
- L'isolation acoustique
- L'étanchéité à l'air
- L'étanchéité à l'eau
- La résistance à l'effraction

I.4.1) Terminologie



Comme pour les fenêtres, les portes peuvent être classées selon leur mode d'ouverture :

- Pivotant sur un axe vertical
 - Portes à battants
 - Portes pivotantes
 - Portes va-et-vient
- Coulissant
 - Portes coulissantes
 - Portes pliantes ou accordéon
 - Portes à guillotine
 - Portes escamotables dans le sol
- Basculant
 - Portes basculantes
 - Portes à enroulement
 - Portes levantes à segment
- Tournant
 - Portes à tambour

1.4.2) Matériaux

Les différents matériaux qui sont généralement utilisés pour les portes sont :

- Bois massif
- Panneaux dérivés du bois :
 - Contreplaqué
 - Panneaux de particules
 - Panneaux de fibres
 - Placage
- Métal :
 - Aluminium
 - Acier
- Autres matériaux :
 - PVC
 - Polyester armé

1.4.3) Résistance au feu

Les portes peuvent aussi avoir un rôle de résistance au feu. Dans les bâtiments recevant du public (ERP), il est indispensable de prévoir des portes coupe feu dans les circulations pour créer des zonages et limiter ainsi l'expansion de l'incendie.

La résistance au feu indique le temps durant lequel, lors d'un feu, un élément de construction (paroi, plancher, plafond, porte...) conserve ses propriétés physiques et mécaniques. La norme française (NF P. 92.507) distingue trois catégories :

- **Stable au feu SF** : l'élément de construction conserve, durant le temps indiqué, ses capacités de portance et d'auto-portance
- **Pare-Flammes PF** : l'élément est stable au feu et évite, durant le temps indiqué, la propagation, du côté non sinistré, des gaz de combustion et des fumées
- **Coupe-Feu CF** : l'élément est pare-flammes et évite, durant le temps indiqué, la propagation de la chaleur du côté non sinistré.

Chaque matériau se voit attribuer une catégorie ainsi qu'une durée, pendant laquelle il assure cette caractéristique. Ces durées sont données en fraction d'heures : 1/4h, 1/2h, 3/4h, 1h, 1h1/2, 2h, 3h, 4h, 6h.

Il existe une norme européenne pour la résistance au feu (EN 14 080 Annexe B 02/2002) qui classe le matériau selon ses caractéristiques dans trois domaines :

- Résistance mécaniques ou force portante
- Etanchéité aux flammes et aux gaz chauds
- Isolation thermique

I.5) Quincaillerie, Serrurerie

Les portes et fenêtres font aussi appel à de la quincaillerie et parfois à de la serrurerie.

La quincaillerie comprend les tiges, les vis, boulons, les poignées, les gonds, les crochets... Elle peut être en différents matériaux (acier, matière plastique, caoutchouc...). Ce sont des éléments importants pour le fonctionnement de la porte. Ils ont aussi un impact sur l'esthétique globale de la porte et de la fenêtre.

La serrurerie comprend les éléments de fermeture des portes (voire des fenêtres). Ce sont des éléments indispensables aux portes donnant sur l'extérieur. Les mécanismes peuvent être rudimentaires ou extrêmement complexes selon le niveau de sécurité recherché. La serrurerie n'est pas toujours réalisée par le menuisier.

L'une des difficultés en termes d'organisation au niveau de la serrurerie et de la quincaillerie est que certains éléments ne sont ajoutés qu'au dernier moment, une fois les peintures réalisées (par exemple, la mise en place des poignées), obligeant ainsi les menuisiers à revenir sur le chantier.

II) Isolation et étanchéité

II.1) Isolant

II.1.1) Principe

L'isolation thermique d'un bâtiment est l'ensemble des techniques permettant de diminuer les échanges de chaleur entre l'intérieur du bâtiment et l'environnement extérieur, et ainsi diminuer les besoins de chauffage et, le cas échéant, de climatisation. Cette isolation doit être pensée en fonction des contraintes climatiques du lieu où se situe le bâtiment.

Enjeux :

- Assurer un bon confort d'hiver et d'été
- Limiter la consommation d'énergie
- Impact sur l'hygrométrie
- Impact sur l'isolation phonique

Il y existe trois modes de transfert :

- **Conduction** : La conduction est un mode de phénomène de transfert thermique provoqué par une différence de température entre deux régions d'un même milieu, ou entre deux milieux en contact, et se réalisant sans déplacement global de matière.
- **Convection** : La convection est un mode de transfert d'énergie qui implique un déplacement de matière dans le milieu.

- **Rayonnement (radiation)** : Le transfert se fait par rayonnement électromagnétique. Le transfert peut se réaliser dans le vide sans la présence de matière.

Résistance en conduction

L'une des caractéristiques importantes des matériaux est la résistance thermique en conduction, notée R_{cd} (appelée souvent simplement résistance thermique). Il exprime la capacité d'un matériau à résister au froid et au chaud. Plus R_{cd} est élevé, plus le produit est isolant. Il est exprimé en **K/W** (Kelvin par Watt) :

$R_{cd} = e / (S \cdot \lambda)$	ou	$R_{cd} = e / \lambda$	(surfacique)
en K/W		en K.m ² /W	
Avec			
<ul style="list-style-type: none"> ▪ e : épaisseur du matériau ▪ λ : conductivité thermique du matériau ▪ S : surface de conduction en m². 			

Résistance en convection

Comme pour la conduction, on peut exprimer une résistance des matériaux au phénomène de convection exprimée en (en K/W) :

$$R_{cv} = 1/(h \cdot S)$$

Avec

- h : coefficient de convection thermique W.m⁻².K⁻¹
- S : surface de convection en m².

Contrairement à la résistance thermique de conduction, celle-ci ne dépend pas de l'épaisseur de la paroi considérée. Que le mur fasse 10 cm ou 1 m ne change donc rien. Elle dépend uniquement de la surface (rugosité, superficie, orientation) et du fluide (température, masse volumique...).

Principe de calcul de la résistance thermique d'une paroi

Hypothèse de calcul : La convection et le rayonnement agissent aux surfaces des parois. Il est possible de les regrouper pour les quantifier. Afin d'en simplifier le comptage la réglementation thermique (RT 2000 et suivantes) les modélisent comme des résistances de surface appelées "résistance superficielle" pour chaque face de la paroi. L'effet de la convection et du rayonnement est le même que si la paroi comportait une résistance superficielle. Leur importance dépend du sens de circulation du flux thermique. En effet l'air chaud monte et l'air froid descend. A l'intérieur d'un local chauffé, il y a donc plus de convection au plafond qu'au plancher. Le flux thermique est donc plus important du bas vers le haut que du haut vers le bas ou à l'horizontal.

On note, $h_i = 1/R_{si}$ et $h_e = 1/R_{se}$, les coefficients d'échanges thermiques superficiels pour l'intérieur et l'extérieur. h_i et h_e s'expriment en W/m².K

Flux	Paroi en contact avec l'extérieur		Paroi en contact avec un local non chauffé	
	Rsi	Rse	Rsi	Rse
Horizontal	0,13	0,04	0,13	0,13
Ascendant	0,10	0,04	0,10	0,10
Descendant	0,17	0,04	0,17	0,17

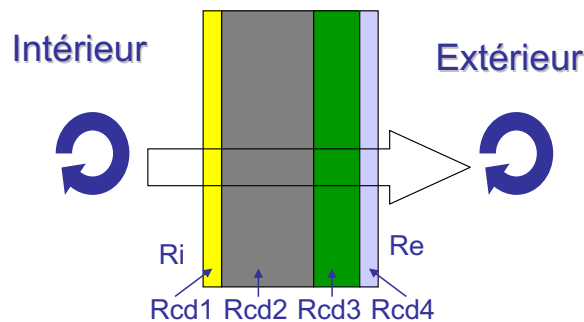
Avec :

Rsi : pour l'intérieur

Rse : pour l'extérieur

Matériaux en série

La plupart des parois sont constituées de plusieurs couches de matériaux en série (le flux de transfert les traverse toutes successivement). Soit différents matériaux montés en séries (couches successives) :



On appelle R_T la résistance thermique totale de la paroi ($\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{w}$)

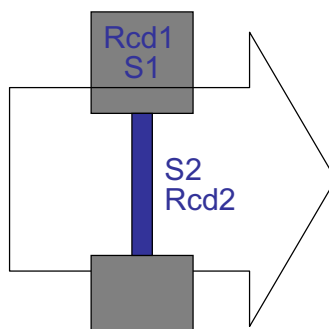
$$R_T = R_i + R_{cd1} + R_{cd2} + R_{cd3} + R_{cd4} + R_e$$

On appelle U le coefficient de transmission thermique de la paroi ($\text{w}/\text{m}^2\cdot\text{K}$)

$$U = S/R_T \quad \text{ou} \quad U = 1/R_T$$

Matériaux en parallèle

Il est très fréquent que les parois ne soient pas homogènes spatialement ; par exemple lorsque l'on a une fenêtre dans un mur. On a alors à faire à des matériaux en parallèle. Soit des matériaux montés en parallèle :



On appelle Ccd la conductance thermique (w/K)

$$Ccd = S/R = S1/(Rcd1) + S2/(Rcd2)$$

II.1.2) Comparatif de quelques isolants

Types isolants			Utilisation					Caractéristiques isolantes		Caractéristiques techniques					Bilan environnemental ^(a)			
Origine	Isolants	Conditionnement	Mur	Plancher / Comble perdu	Rampant	Support de couverture	Sol - Sous chape	Lambda en W/m.K	Épaisseur pour R-5 en cm	Prix TTC indicatif pour R-5		Capacité hygroscopique	Résistance à la vapeur d'eau (μ)	Classement au feu	Temps de déflagrage (en heure pour 20 cm)	Énergie primaire (kWh Ep UFJ) ^(b)	Effet de serre (kgCO ₂ eq UFJ) ^(b)	
Isolants synthétiques	Polystyrène expansé PSE	Panneaux	●	●	●	●	●	0,037 à 0,040	18 à 20	15 à 20 €		Non	30 à 100	B	6	142,6	16,9	
	Laines minérales	Laine de verre	●	●	●	●	●	0,035	17	6 à 16 €		Non	1	A à B	6	59,4	9	
	Laine de roche HD	Rouleaux	●	●	●	●	●	0,040	20	6 à 10 €		Non	1	A à B	6	184	46,8	
Isolants d'origine végétale	Fibre de bois	Panneaux souples	●	●	●			0,038 à 0,040	19 à 20	24 à 38 €		Faible	1 à 2	E	7,5	51,5	-5,5	
		Panneaux denses	●	●	●	●	●	0,037 à 0,046	18 à 23	36 à 75 €		Faible	3 à 8	E	15	173,3	-18,6	
	Ouate de cellulose	Vrac insufflé	●	●	●			0,038 à 0,044	19 à 22	10 à 15 €		Moyenne	1 à 2	B à E	10	17,1	-4,4	
		Vrac déversé		●				0,037 à 0,040	18 à 20	10 à 15 €		Moyenne	1 à 2	B à E	10	17,1	-4,4	
		Panneaux	●	●	●			0,039	20	38 à 42 €		Moyenne	2	E	12	50,8	-3,5	
	Liège	Vrac	●	●			⊙	0,040 à 0,045	20 à 22	28 à 42 €		Faible	5 à 30	E	9	41,4	-25,6	
		Panneaux	●	●	●	●		0,036 à 0,042*	18 à 21	45 à 71 €			5 à 30	E	13	41,4	-25,6	
	Laine de chanvre	Rouleaux	●	●	●			0,038 à 0,042	19 à 21	25 à 36 €		Moyenne	1 à 2	E	7	60,8	5,1	
		Panneaux	●	●	●			0,038 à 0,042	19 à 21	20 à 40 €		Moyenne	1 à 2	E	7	60,8	5,1	
	Chênevotte	Vrac	⊙	●	●		⊙	0,048	24	17 à 30 €		Moyenne	1 à 2	E	8,5	15,5	-48,9	
	Laine de lin	Rouleaux	●	●	●			0,037	19	35 à 40 €		Moyenne	1 à 2	C à D	6	56,7	0,7	
		Panneaux	●	●	●			0,037 à 0,047	18 à 23	22 à 25 €		Moyenne	1 à 2	C à D	6	56,7	0,7	
	Isolants d'origine animale	Laine de mouton	Rouleaux	●	●	●			0,035 à 0,042	17 à 21	20 à 28 €		Forte	1 à 2	C	5	24,5	0,2
			Panneaux	●	●	●			0,035 à 0,040	17 à 20	28 à 36 €		Forte	1 à 2	C	5	24,5	0,2

* 0,049 pour liège blanc
● : Utilisation conseillée
⊙ : Utilisation possible en béton allégé

(a) Moyenne calculée par l'association Arcanée (cf explications page 27)
(b) 1 UF = 1 m² d'isolant à R = 5 m².K/W

* 0,049 pour liège blanc
● : Utilisation conseillée
○ : Utilisation possible en béton allégé

(a) Moyenne calculée par l'association Arcanne (cf explications page 27)
(b) 1 UF = 1 m² d'isolant à R = 5 m².K/W

Loi de Fourier

Dans le cas d'un champ de températures à une dimension :

$$\phi = dQ/dt = -\lambda A dT/dx$$

Q : énergie (J)

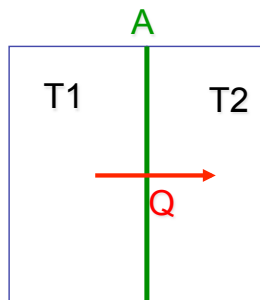
φ : flux thermique (en W)

A : surface perpendiculaire au flux thermique

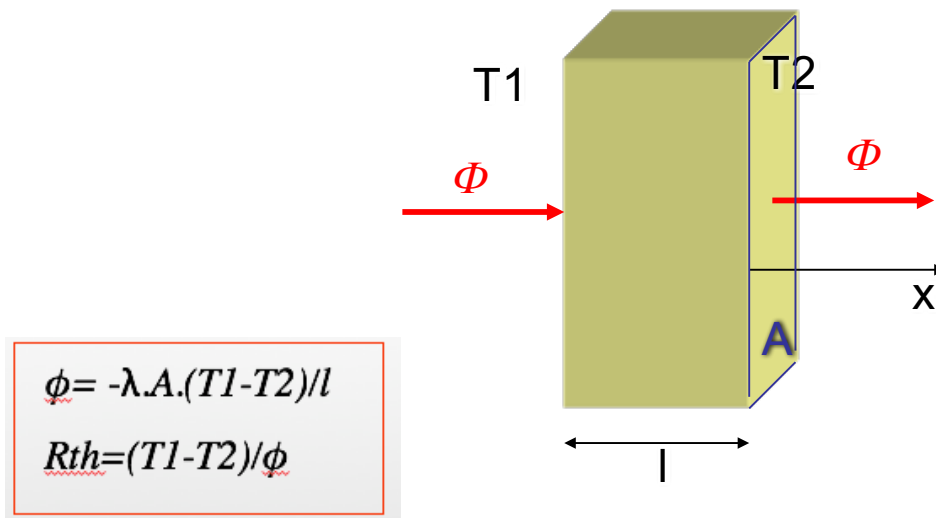
λ : conductivité thermique du matériau

dT/dx : Le gradient de température au point x considéré, c'est à dire la variation de la température par unité de longueur dans la direction x

- Le signe moins : le flux de chaleur est positif quand la température diminue avec x.



Au travers d'une paroi :



II.1.3) Isolation des façades

On dispose de trois solutions pour isoler les façades :

- Isolation par l'intérieur
- Isolation par l'extérieur
- Isolation intégrée

Isolation par l'intérieur

Cette solution, la plus répandue, est aussi la plus facile à mettre en œuvre. L'isolation intérieure sera choisie pour les cas où il est difficile d'intervenir sur l'extérieur du bâtiment. L'isolation intérieure permet une montée en chauffe rapide adaptée à un usage temporaire mais cela est négatif sur l'inertie (et donc le confort d'été). La contrepartie de l'isolation intérieure est une réduction de l'espace intérieur et la présence de nombreux ponts thermiques restant à traiter.

Isolation par l'extérieur

Cette solution, souvent plus coûteuse. Elle est plus difficile à mettre en œuvre, notamment sur certains édifices anciens (pierre apparente, façades ouvragées) et nécessite presque toujours l'intervention de professionnels qualifiés. Mais elle permet de conserver la masse thermique du mur à l'intérieur de l'enveloppe isolée (meilleure inertie). Une isolation extérieure est intéressante car elle n'empiète pas sur le domaine habitable. Si elle présente des limites dans la quantité d'isolant pouvant être employée (de l'ordre de 15 cm), elle a l'énorme avantage de supprimer les ponts thermiques (abouts de planchers...) sauf ceux au niveau des fondations.

Isolation intégrée

Cette solution utilise des matériaux qui intègrent un isolant dans leur structure : béton cellulaire, brique de terre cuite avec âme isolante... Cette solution est performante et durable, mais n'est pas adaptée à tous les ouvrages. Elle est à la charge du lot gros œuvre.

A surveiller :

- Ventilation

- Protection de la couche d'isolant contre les sollicitations extérieures (humidité, animaux...).

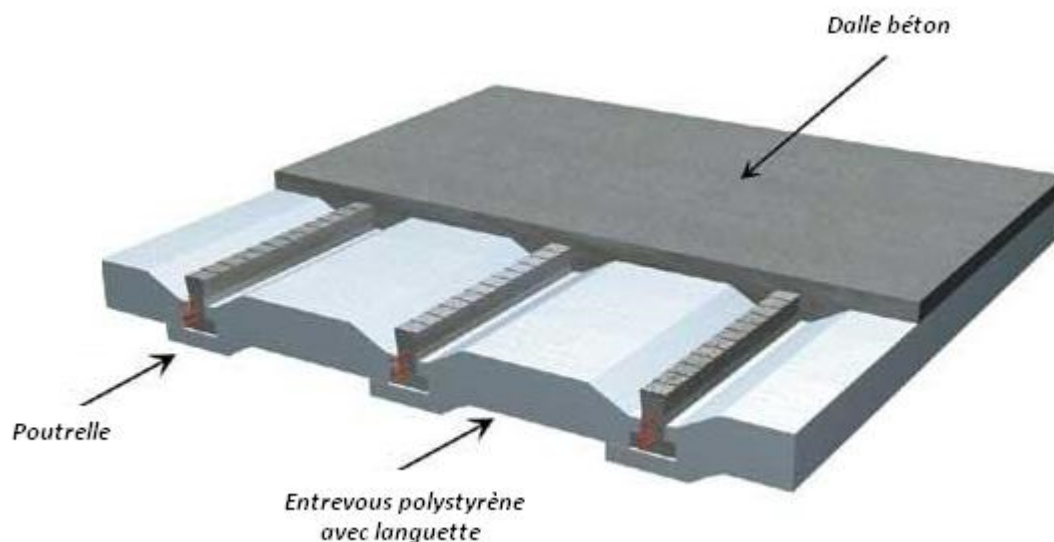
II.1.4) Isolation des planchers

L'isolation des planchers combat deux causes de déperditions thermiques :

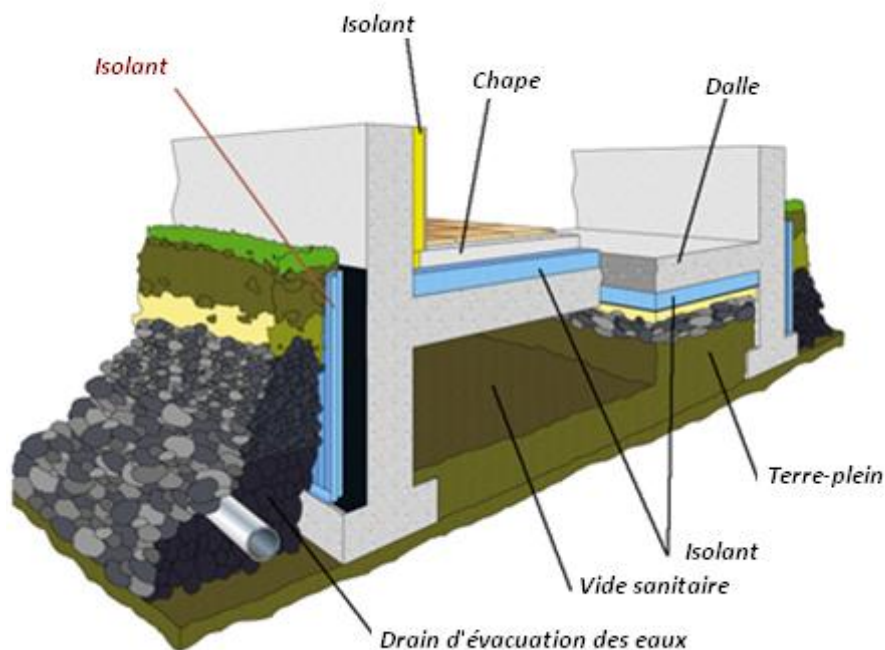
- Pertes vers l'étage inférieur non chauffé (sous-sol, vide sanitaire, terre-plein...) ;
- Pertes par ponts thermiques (voir cette section).

L'isolation thermique des planchers est importante pour le confort et pour l'économie d'énergie dans le cas d'un système de chauffage par le sol. Du fait des efforts mécaniques appliqués sur le plancher, il n'est pas possible d'avoir recours aux mêmes techniques que pour les façades ou la toiture. Il existe différentes solutions techniques pour l'isolation du plancher bas. En construction neuve :

- Entrevous isolants (1)
- Isolant en fond de coffrage (2)



En rénovation, la méthode va dépendre du type de plancher (sur vide sanitaire ventilé ou non, sur passage ouvert, sur terre-plein). Si on a accès au sous-sol, on peut utiliser une isolation sous la dalle ; c'est souvent la solution la plus facile et la plus économique. De plus, cela permet de conserver l'inertie thermique de la dalle qui va rayonner la chaleur emmagasinée pendant les périodes de chauffe en hiver et conservera la fraîcheur en été. L'inconvénient est la diminution de la hauteur sous plafond du local inférieur, ce qui peut être problématique dans certains cas. Sinon, il est possible d'isoler par-dessus la dalle...



Quelques points que l'on peut retenir :

- Le sol est un déjà un isolant (qui dispose d'une très bonne inertie), il n'est toujours nécessaire d'isoler les planchers (en rénovation). Voir le coût par rapport au gain.
- Attention à l'humidité : il peut être nécessaire de disposer d'une ou deux couches d'étanchéité (film plastique, enduit d'imprégnation à froid) et de drainage
- Tous les isolants ne conviennent pas au plancher (pour des raisons mécaniques ou d'humidité surtout).

II.1.5) Isolation de la toiture

Convection (montée de l'air chaud) :

- Température plus élevée au plafond
- Mettre en place un complexe isolant plus performant en toiture
- Bien isoler la toiture : investissement très rentable (priorité).

Trois types de toiture possibles :

- Toiture sur combles perdus, c'est-à-dire non habitables
- Toiture sur combles habitables
- Toiture-terrasse

Plusieurs solutions sont possibles pour l'isolation sous le toit, en fonction de la résistance thermique souhaitée et du type de toiture :

Isolation d'une toiture sur combles perdus :

Solution efficace : isolants en vrac (pose facile) ; ils se logent dans tous les interstices, évitant ainsi les ponts thermiques.

Mais généralement légers : il est préférable de largement dimensionner leurs épaisseurs pour éviter les surchauffes d'été.

Isolation de combles habités :

Solution fréquente : Isolant entre les chevrons (sinon en dessous ou au dessus des chevrons). La qualité de la pose est ici très importante. Les isolants légers en rouleau sont à éviter pour garder l'étage frais l'été.

Isolation d'une toiture terrasse :

Solution : isolation par l'extérieur.

Attention à l'étanchéité : faciliter l'écoulement des eaux et éviter les infiltrations.

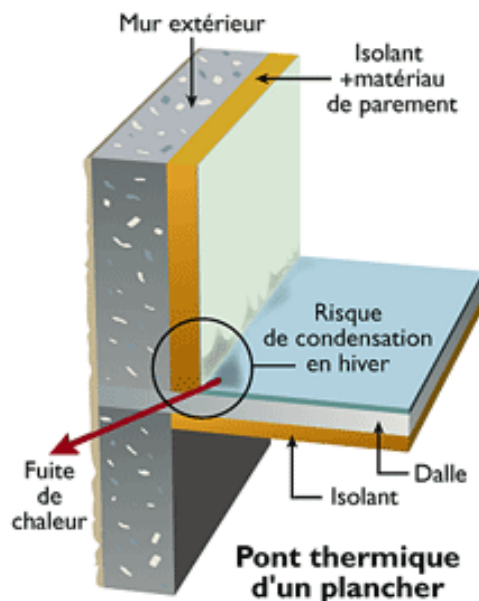
Attention aux contraintes mécaniques et à l'usage de la terrasse.

Différents isolants sont possibles : PSE (polystyrène expansé), laines minérales...

II.1.6) Pont thermique

Un pont thermique est une zone ponctuelle ou linéaire qui, dans l'enveloppe d'un bâtiment, présente une variation de résistance thermique (à la jonction de deux parois en général). Un pont thermique est donc créé si :

- il y a changement de la géométrie de l'enveloppe
- il y a changement de matériaux et ou de résistance thermique



On cherchera à minimiser autant que faire se peut les ponts thermiques.

II.2) Etanchéité

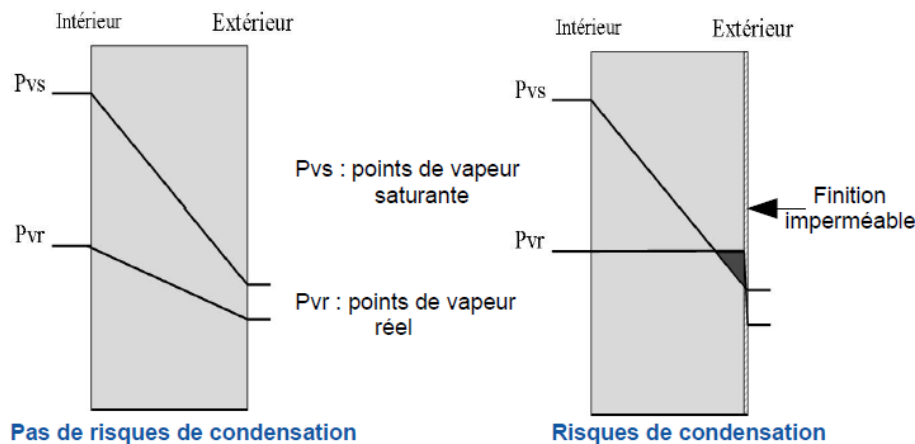
Un des aspects importants à considérer et liés à l'isolation thermique est la **perméabilité et l'étanchéité à l'eau des différentes parois**. L'humidité pose différents problèmes :

- Confort
- Durabilité des matériaux (caractéristique, esthétique, autres gênes...)
- Les isolants notamment peuvent voir leurs performances décroître en présence d'eau (saturation des pores, apparition de moisissures, gel...).

- Nécessité de garder l'humidité dans les matériaux à un niveau acceptable.
- Prévoir des protections contre l'humidité :
- Protection contre les intempéries (pluie, neige)
- Protection contre les transports convectifs de vapeurs d'eau
- Protection contre la condensation
- Protection contre la diffusion par capillarité

II.2.1) Façade et Plancher

Il est nécessaire de vérifier s'il y a condensation de la vapeur d'eau au niveau de l'isolant. Il y a risque de condensation si la pression de vapeur saturante (à laquelle la vapeur d'eau se transforme en gouttelettes) passe sous la pression de vapeur réelle.



Loi de Flick

Afin de vérifier s'il n'y a pas condensation dans la paroi, il faut :

- Tracer le profil des pressions saturantes (obtenues à partir des températures et du diagramme de Moller)
- Tracer le profil des pressions partielles (réelles) à partir de l'humidité intérieure et extérieure.
- Vérifier si le profil des pressions partielles croise le profil des pressions saturantes

Facteur de résistance de diffusion μ d'un matériau : rapport de la perméabilité à l'air (0,09 g/m.h.mmHg) à sa propre perméabilité π : $\mu = 0,09/\pi$

L'humidité relative (HR) s'exprime en %. C'est le rapport entre la pression partielle de vapeur d'eau "pv" et la pression de saturation de la vapeur d'eau "pvs".

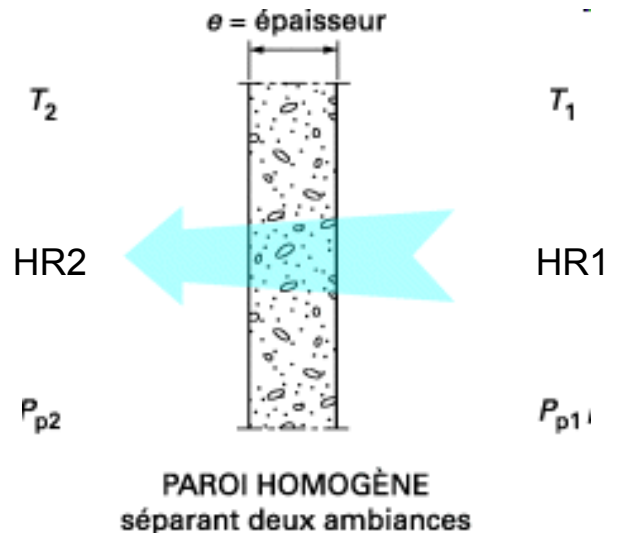
$$HR = 100\% \times pv / pvs$$

Loi de Flick :

$$g = (P_{p1} - P_{p2}) \cdot \pi / e$$

Avec :

g : ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$) quantité de vapeur d'eau traversant la paroi par unité de temps et par unité de surface,
 e : (m) épaisseur de la paroi,
 π : ($\text{g}/\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg}$) coefficient de perméabilité du matériau à la vapeur d'eau.



Résistance de diffusion R_D à la vapeur d'eau ($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg}/\text{g}$) : $R_D = e/\pi$

En cas de paroi multicouche : $R_D = \sum e_i/\pi_i$

Pour éviter la condensation, deux méthodes peuvent être appliquées :

- Le pare-vapeur
- Les parois perspirantes

Le pare-vapeur :

C'est une barrière étanche à la vapeur d'eau, et donc à l'air qui se place du côté chaud de l'isolant. La pose d'un pare-vapeur du côté chaud de la paroi permet d'éviter la condensation puisqu'il abaisse la courbe de vapeur réelle avant que celle-ci ne croise celle de vapeur saturante. Son efficacité demeure néanmoins théorique car sa mise en œuvre implique des raccords, jamais totalement imperméables, qui concentrent donc la vapeur d'eau.

Caractéristiques des pare-vapeurs :

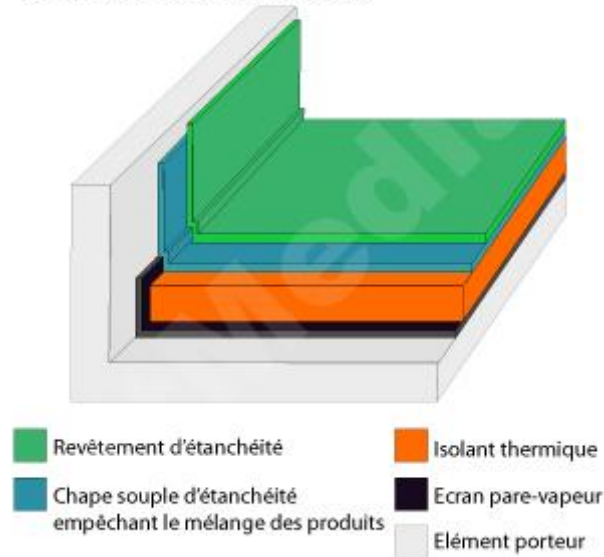
- Perméabilité à la vapeur d'eau (en $\text{g}/\text{m}^2 \cdot 24\text{h}$)
- Quantité de vapeur d'eau qui diffuse à travers 1 m^2 d'écran pendant 24 h.
- Perméance (en $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg}$ ou $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$)
- Coefficient S_d (en m) : Épaisseur de couche d'air de diffusion équivalente. Plus cette valeur est importante, moins le film laisse passer la vapeur d'eau.

Les parois perspirantes :

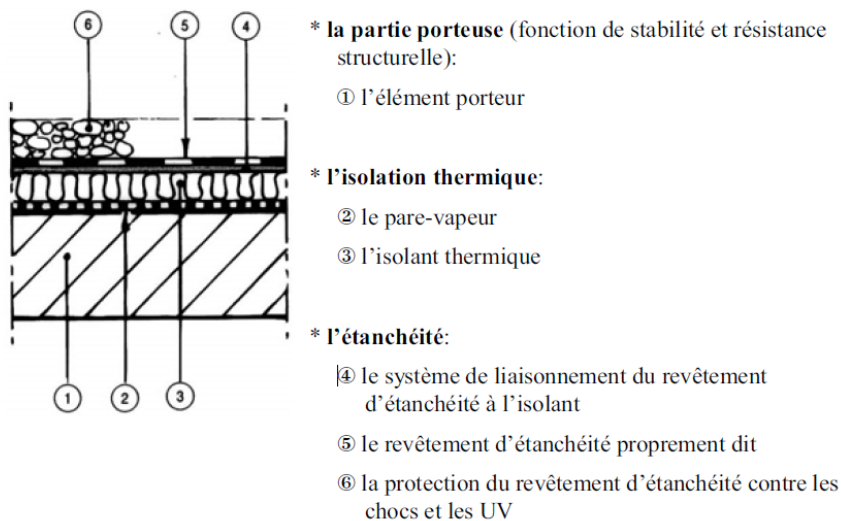
Ce sont alors les parois elles-mêmes qui vont transmettre, de façon uniforme, l'excès de vapeur d'eau interne au bâtiment vers l'extérieur. L'uniformité de la répartition de l'humidité à travers le mur ne cause pas de dégâts. Les matériaux constituant les parois doivent avoir une capacité hygroscopique relativement élevée (type bois et ses dérivés, végétaux, terre crue ou cuite, pierre, chaux, plâtre...). Pour une évacuation plus rapide de la vapeur d'eau, il convient de positionner les matériaux du plus résistant à l'humidité au moins résistant (de l'intérieur vers l'extérieur). Au besoin, des films freine-vapeur peuvent augmenter la résistance des enduits et parements intérieurs. Les isolants minéraux ne doivent pas être utilisés dans ce type de paroi car ils perdent leur capacité isolante en présence de condensation.

II.2.2) Toiture

Globalement, on va retrouver les mêmes types de problèmes que pour les façades (notamment les problèmes de condensation de la vapeur d'eau), mais ici, on aura en plus, une importance accrue de la protection contre les intempéries. Si l'on se trouve en toiture terrasse, il faut nécessairement prévoir une étanchéité performante. Cet aspect est très encadré par les DTU (par exemple n° 43.1 et 43.2 pour les toitures en béton).

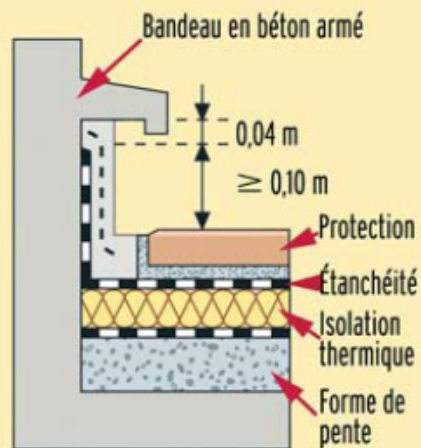


Etanchéité en partie courante :

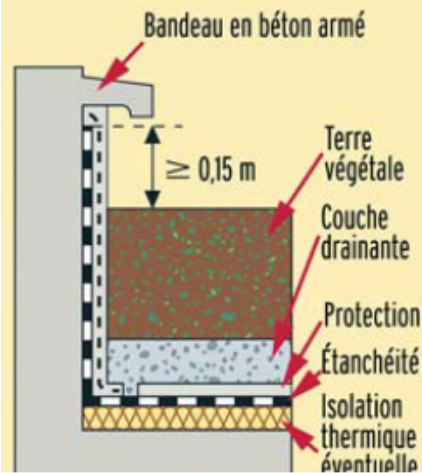


Il faut aussi assurer les relevés d'étanchéité sur les pourtours de la toiture terrasse. Cela permet d'éviter que l'eau ne s'infiltre par les bords de l'étanchéité...

Terrasse accessible



Terrasse jardin



L'étanchéité doit pouvoir résister à différentes sollicitations :

- Fissuration
- Aux effets de la température
- Au poinçonnement
- Au vieillissement (durée de vie d'environ 30 ans avec entretien)

On peut trouver différents types de revêtement d'étanchéité.

On a 2 catégories de matériaux :

- Les matériaux manufacturés en feuille (rouleaux que l'on déroule sur place)
- Les matériaux appliquées in situ (généralement sous forme liquide)

Matériaux manufacturés en feuilles			Matériaux appliqués in situ
A base de bitume oxydé.	A base de bitumes modifiés par polymères.	Membranes à base exclusivement de polymères (ne contiennent pas de bitume).	
<p>Un seul type :</p> <p>Multicouche en bitume oxydé. Quasiment plus utilisé, on le trouve encore dans les magasins de bricolage. A éviter.</p> <p>Nota : beaucoup utilisés jusqu'aux années 80, ils sont depuis remplacés par les bitumes SBS (ci-contre) qui présentent de meilleures qualités élastiques et de tenue dans le temps.</p>	<p>De deux types :</p> <p>Bicouche en bitume modifié SBS. Le plus utilisé.</p> <p>Bicouche en bitume modifié APP. Emploi restreint en France, on les trouve principalement en Italie et en Belgique.</p> <p>Nota : SBS et APP sont le nom des polymères utilisés pour améliorer les caractéristiques du bitume :</p> <p>SBS = styrène-butadiène-styrène</p> <p>APP = polypropylène atactique</p>	<p>Les plus utilisés sont (liste non exhaustive) :</p> <p>PVC P (plastifié). Le plus répandu, il représente 80 à 90% du marché des membranes.</p> <p>TPO (thermoplastique oléfine). En progression, commence à s'implanter sur le marché.</p> <p>EPDM (éthylène-propylène-diène-monomère). Très employé aux USA pour les toitures, c'est le caoutchouc également utilisé pour les zodiacs.</p> <p>PIB (polyisobutylène).</p> <p>CSPE (polyéthylène chlorosulfoné).</p>	<p>Il en existe deux :</p> <p>Asphalte</p> <p>Systèmes d'étanchéité liquide (SEL). Egalement appelés résine, ils sont appliqués sur les balcons, loggias ou garages.</p>

Pour les autres types de toitures (avec une pente $>15^\circ$), les problèmes d'étanchéités seront moindres. Il faut tout de même veiller à une bonne imperméabilité de la toiture par le recours à des éléments de couvertures assurant ce rôle ou par le recours à une couche d'étanchéité. Il faut aussi veiller à limiter le risque de condensation dans les matériaux en ayant recours au besoin à des pare-vapeurs. Un élément devient tout de même prépondérant, il s'agit du système d'évacuation des eaux (gouttière...).

III) Cloison

III.1) Objectifs

Les cloisons sont des éléments verticaux, **non porteurs**, destinés à assurer la compartimentage interne d'un bâtiment. On distingue trois types de cloisons :

- **Cloison de distribution** : cloison intérieure pour pièces
- **Cloison de doublage** : cloison rapporté sur la face intérieure d'une façade pour constituer une coupure ou isoler le mur.
- **Cloison séparative** : cloison entre logements ou entre logement et circulation (exigence acoustique et résistance au feu)

La cloison peut avoir différents objectifs :

- Délimiter des zones
- **Protection acoustique entre locaux**
- **Isolation thermique**
- Protection contre le feu
- Eléments décoratifs
- Supporter les réseaux

On peut aussi rajouter l'aspect mécanique. En effet bien qu'étant un élément non porteur les cloisons doivent tout de même pouvoir supporter certaines sollicitations.

III.2) Mécanique

Les cloisons sont des éléments non porteurs., mais on doit limiter leur flèche (norme française) :

- 1/5000 de la hauteur de la paroi
- 5mm sous l'effet :
 - D'une charge répartie de 20 kg/m² (effet du vent ou d'une personne s'appuyant sur la cloison)
 - De chocs de corps mous ou dur
 - D'une charge verticale excentrée de 100kg à 30 cm à l'avant du parement transmise par deux consoles de 50cm d'entraxe
 - De contraintes hygrothermiques dues aux différentes ambiances des locaux adjacents

Autre point : il faut éviter que les cloisons ne soient trop lourdes, ce qui pourrait entraîner des charges trop importantes sur les éléments porteurs.

III.3) Acoustique

Les cloisons n'ont pas toujours pour rôle premier d'assurer un bon confort acoustique, mais c'est un aspect qui est intéressant pour les cloisons séparatives.

Dans les bâtiments, on a deux paramètres liés au bruit :

- Le niveau sonore (isolation)
- La qualité sonore (temps de réverbération)

Un petit rappel sur l'acoustique

Un son est défini par deux caractéristiques :

- Fréquence
- Niveau sonore

Fréquence (Hertz, Hz) : nombre de vibrations par seconde.
sons aigus (hautes fréquences) des sons graves (basses fréquences).

Niveau sonore ou niveau de pression acoustique (décibel, dB) : amplitude d'un son.

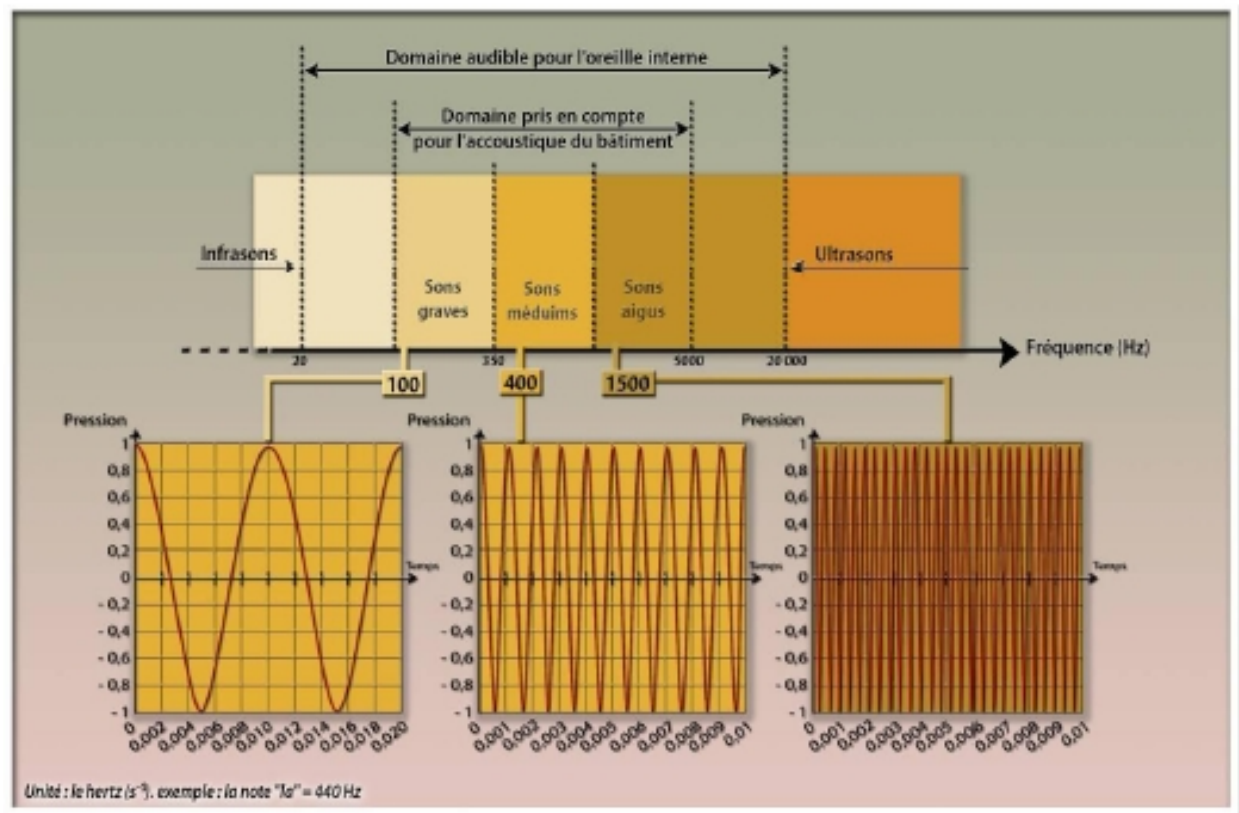
Lp (Level pressure) : rapport de deux puissances P1 et P0

$$L_p = 10 \log (p^2/p_0^2)$$

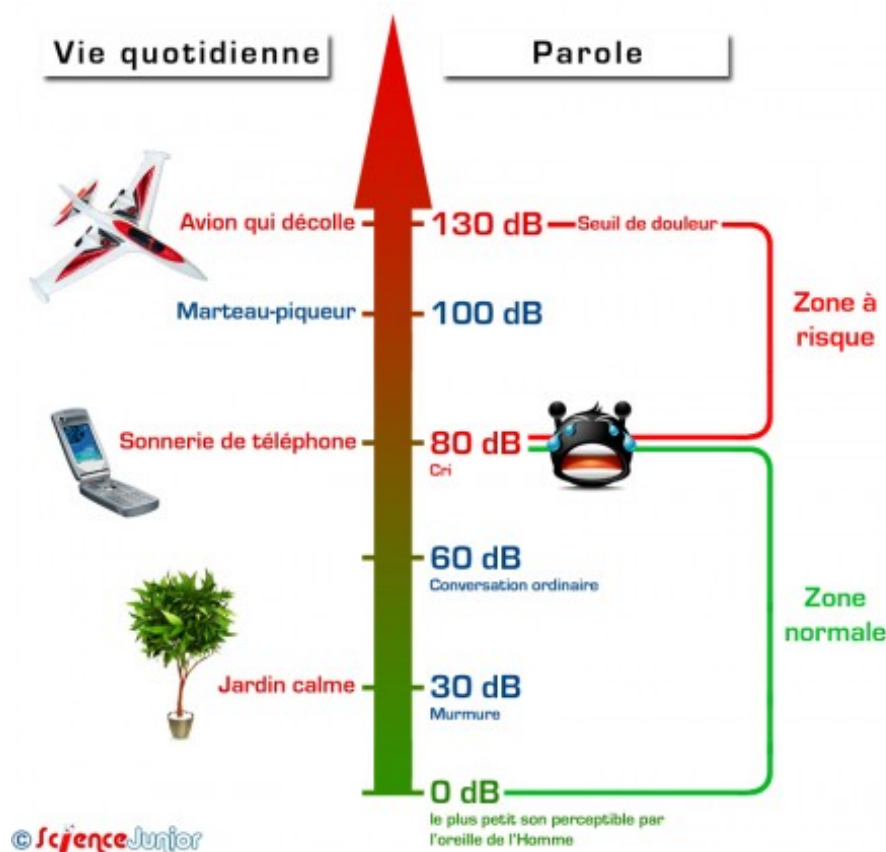
Avec

$p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pascal (pression minimale perceptible par l'oreille humaine)

p : pression acoustique mesurée



Les décibels étant des valeurs logarithmiques, il n'est pas possible de les additionner par des sommes numériques directes.



Il y a une gêne à partir de 65 dB de niveau sonore. Afin de prendre en compte la perception du bruit par l'oreille humaine, on utilise fréquemment une pondération dite A. On corrige les niveaux de bruit mesuré en fonction de la fréquence.

Calcul du niveau en dB(A) d'un bruit rose de 80dB par octave entre 125 et 4000 Hz

1	Fréquences (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	dB(A)
2	Niveau L en dB	80	80	80	80	80	80	
3	Pondération (A) en dB	- 16	- 9	- 3	0	+ 1	+ 1	
4	Niveau L pondéré (A)	64	71	77	80	81	81	86

L'octave est l'intervalle entre deux fréquences telles que l'une est le double de l'autre : par exemple l'intervalle entre 90 et 180 Hz.

Le bruit rose est un signal aléatoire dont l'intensité de chaque bande de fréquence de taille identique est égale, si on l'analyse dans une échelle logarithmique : Il possède une intensité constante par octave.

Temps de réverbération

Définition : temps nécessaire - en secondes- pour que le niveau de pression acoustique descende de 60 dB après l'interruption de la source sonore.

Un temps de réverbération trop long rend le discours intelligible, la musique cacophonique et provoque de hauts niveaux de bruit de fond. A l'inverse un temps de réverbération trop court,

étouffe le discours et rend le son musical « mince » et saccadé. Il y a donc un compromis à trouver.

Temps de réverbération (T_r) d'une pièce (en s) :

$$T_r = 0,161 \cdot V/A$$

Avec aire d'absorption équivalente : $A = \sum \alpha_i \cdot S_i$

Avec :

- S_i : surface du matériau i exposée
- α_i : coefficient d'absorption du matériau (coefficient Alpha Sabine)
- $\alpha_i = (\text{énergie sonore absorbée}) / (\text{énergie sonore incidente})$

Isolation

Il faut isoler le bâtiment (et les locaux) vis-à-vis de deux types de bruit :

- Bruits aériens (cloisons, mur, toiture, plancher)
- Bruits solidiens (plancher)

Bruits aériens

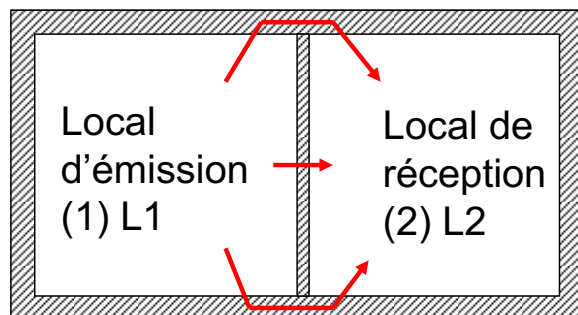
Isolement brut (dB) : $D = L_1 - L_2$

Isolement acoustique normalisé DnT en dB entre 2 locaux :

$$DnT = L_1 - L_2 + 10 \cdot \log (T_r / T_0)$$

Avec

- L_1 et L_2 les niveaux de bruits dans les locaux 1 et 2.
- T_r : Temps de réverbération du local de réception
- T_0 : Temps de réverbération de référence ($T_0 = 0,5$ s pour un volume inférieur à 50 m³, sinon $T_0 = V/100$ s)



Indice d'affaiblissement acoustique R en dB d'une paroi :

$$R = L_1 - L_2 + 10 \cdot \log (S / A)$$

$$R = 10 \log 1/\tau$$

$$\tau = \sum S_i \cdot \tau_i / \sum S_i$$

Avec :

- L_1 et L_2 les niveaux de bruits dans les locaux 1 et 2.
- S : Surface de la paroi entre les deux locaux
- A : Aire d'absorption équivalente du local de réception
- τ_i : coefficient de transmission = énergie transmise / énergie incidente ($\tau = I_{tr}/I_i$)

L'isolement des parois est caractérisé par un indice d'affaiblissement acoustique. On peut mesurer cet affaiblissement :

- en laboratoire (procédure décrite dans la norme NF S 31-051)
- in situ (permet de prendre en compte la configuration des lieux). Pour faire les mesures, on utilise en général un bruit rose.

Exemples de valeurs d'indice d'affaiblissement :

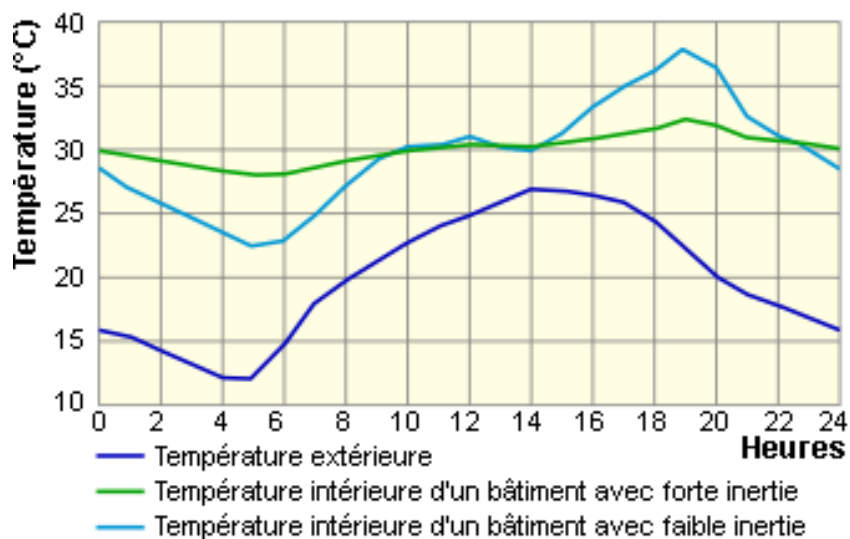
Type	Epaisseur	R (dB(A))
Carreaux de plâtre	7	35
	10	38
2 Plaques de plâtres de 13mm vissées sur des montants métalliques	7	37
Idem avec entre les plaques un panneau semi-rigide de fibres minérales	7	42

III.4) Thermique

Au niveau thermique, les parois peuvent avoir trois rôles :

- améliorer l'isolement des façades
- limiter les échanges entre deux locaux
- augmenter l'inertie thermique d'un local (souvent l'aspect le plus important).

L'inertie a une importance forte pour le confort d'été. Elle permet d'amortir l'onde quotidienne de température et d'ensoleillement, en étalant les variations de températures sur une plusieurs jours.



III.5) Les différents types de cloison

Voici une liste non exhaustive de différents types de cloisons (selon les matériaux utilisés) :

- Cloisons maçonnées
 - Brique de terre cuite
 - Brique de béton
 - Brique de béton cellulaire
 - Brique de verre
- Cloison en plâtre
 - Panneaux de plâtre (BA 13)
 - Carreaux de plâtre
- Cloison en bois
 - Bois massif
 - Panneaux de contre-plaqués
 - Panneaux de particules
 - Panneaux de fibres
 - Panneaux composites

Les différents types de cloison :

Type de cloisons	Avantages	Inconvénients
Brique creuse	Solide	Médiocre isolant phonique Nécessite un temps de séchage des plâtres très long, ralentissant de plusieurs semaines la durée de construction Cher (30 €/m²)
Plaques de plâtre (BA13)	Très répandues Bonne interface avec les réseaux	Problème avec l'humidité
Carreaux de plâtre	Mise en place facile et rapide	Rigide : des fissures se produisent souvent autour des portes Lourd
Béton cellulaire	Légère, maniable, résiste à l'eau Mise en œuvre facile Bonne isolation thermique et acoustique	Nécessite replâtrage car surface rugueuse Fragile
Bois	Aspect chaleureux	Prix
Plaques de plâtre alvéolaires	Bon marché (21 €/m²) Souple (convient bien pour maison à ossature bois)	Nécessite vis spéciales à écartement pour fixation objets lourds. Sous-couche de peinture nécessaire avant pose de papier-peint (certaines cloisons sont cependant fournies pré-peintes)
Plaques de plâtre + laine isolante	Bon isolant phonique Souple	idem ci-dessus plus cher (30 €/m²)
Plaques de plâtre renforcées en fibres de cellulose	Nettement plus solides que les plaques de plâtre cartonnées Résistantes au feu (M0) Respirantes Hygrorégulatrices Bonne résistance à l'arrachement. Adaptées pour les milieux humides domestiques.	Plus chères que les plaques cartonnées

Quelques informations supplémentaires :

Les **carreaux de plâtre et plaques en BA13** ont connu un fort développement. Ils sont faciles à mettre en place et peuvent s'associer à d'autres éléments (métal, réseaux alvéolaire...). On les retrouve très souvent utilisés pour du bâtiment neuf ou en rénovation.

IV) Revêtement de sol

IV.1) Objectifs

Revêtement de sol : éléments de finition indispensables aux dalles et planchers pour des raisons de :

- Confort (sûreté de marche, confort pour les pieds)
- Esthétique
- Confort acoustique (isolation et réverbération)
- Mécanique et durabilité
- Entretien
- Confort thermique
- Tenue au feu
- ...

IV.2) Sécurité

Un revêtement de sol doit limiter les risques de chute (sol non uniforme, glissant...). Une attention particulière doit être portée sur les revêtements d'escalier. Pour améliorer la sécurité, on peut jouer sur :

- Adhérence du revêtement
- Forme et ampleur du relief empêchant la glissade du pied
- Robustesse de la liaison gros-œuvre/ revêtement

Le revêtement a aussi un rôle dans le confort du contact pied/sol. Caractéristiques :

- Température au touché ressentie
- Dureté
- Planimétrie

IV.3) Confort acoustique

Le revêtement de sol peut avoir un rôle dans :

- Isolation (aux bruits aériens et solidiens)
- Qualité sonore (temps de réverbération)

Pour les bruits aériens, c'est la dalle et l'isolant qui généralement permettent d'assurer les caractéristiques minimales demandées. Pour les bruits solidiens, le revêtement a un impact majeur.

Bruit solidiens

Les bruits solidiens correspondent à la transmission du bruit dans la structure du bâtiment (Pas des personnes, mobilier déplacé, équipements collectifs, fluides...). Ils se transmettent par vibration.

Ils se répartissent en 2 classes :

1- les bruits d'impact (essentiellement bruits de pas)

Ils nécessitent des coupures élastiques avec des matériaux résilients matériaux qui restent souples sous charge).

- Placer sur le sol un revêtement résilient (souple et élastique) ou posée sur un support résilient (sous-couche)
- Créer des coupures dans la structures (dalle flottante)
- Plafond suspendu (entre 2 locaux superposés) que si les murs latéraux sont traités

2- les bruits d'équipement (Ascenseurs, ventilation mécanique, chauffage...). On peut résoudre ce problème en :

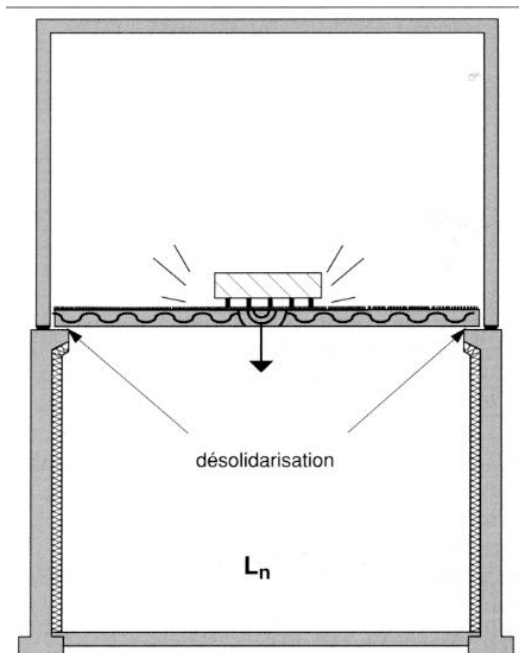
- Choissant des équipements silencieux (L_w , niveau de puissance le plus bas)
- Désolidarisant leur fixation des éléments rigides de la structure
- Choissant judicieusement leur lieu et leur mode d'accroche : ne pas adosser à des locaux sensibles (chambres), penser au sas acoustiques, ne pas les fixer sur des cloisons rigides légères (briques ou carreaux de plâtres...)

Comme pour les bruits aériens, le niveau sonore dans le local de réception dû au bruit d'impact dépend de son volume, des transmissions latérales... L'efficacité du revêtement de sol ou de la dalle est caractérisé par son indice ΔL_w mesuré en dB. Le revêtement à étudier est posé sur une dalle de référence.

ΔL_w = niveau sonore sous la dalle nue - niveau perçu sous la même dalle avec revêtement.

Le niveau d'isolement sonore apporté par l'ensemble dalle + revêtement est caractérisé par l'indice L_n . Plus L_n est petit, meilleure est la performance d'isolation aux bruits d'impact.

L'indice L_n est déterminé en laboratoire par mesure par bande de tiers d'octave. Pour une raison de commodité d'utilisation, l'ensemble des valeurs numériques ainsi obtenues sont transformées en un indice unique $L_{nT,w}$



Mesure de la transmission des bruits d'impacts : valeur du niveau de pression pondéré du bruit de choc standardisé $L_{n,T}$

$$L_{nT} = L_n - 10 \log (T/T_o)$$

Avec :

- L_n : niveau de pression du bruit d'impact (en dB)
- T : temps de réverbération du local récepteur
- T_o : Temps de réverbération de référence

Bruit de d'impact normalisé $L_n'w$ obtenu à partir du bruit d'impact standardisé $L_n'Tw$ global (obtenu en faisant la somme pondérée des L_{nT} par bande d'octave)

$$L_n'w = L_n'Tw + B$$

$$B = \begin{cases} \text{Si } V \leq 100 \text{ m}^3 & B = 10 \log(V) - 15 \text{ dB} \\ \text{Si } 100 < V \leq 2500 \text{ m}^3 & B = 5 \log(V) + 5 \text{ dB} \\ \text{Si } V > 2500 \text{ m}^3 & B = 10 \log(V) - 22 \text{ dB} \end{cases}$$

IV.4) Thermique

Au niveau thermique, les revêtements de sol ont deux caractéristiques intéressantes :

- Capacité d'isolation
- Température ressentie au toucher

La capacité d'isolation des revêtements de sol est souvent assez faible (excepté pour certains comme les parquets). Il contribue à l'isolation mais dans une proportion faible face à l'isolant. Mais ils peuvent limiter les échanges en surfaces : sensation agréable au toucher. Cela est qualifié par l'effusivité du matériau. Le revêtement a donc un rôle dans le confort du contact pied/sol.

$$T = \frac{(E_1 T_1 + E_2 T_2)}{(E_1 + E_2)}$$

T : température de contact

T_i : température du matériau i

E : effusivité thermique du matériau i en (J/K/m³). (m²/s)

Attention aux planchers chauffants : certains revêtements sont alors moins adaptés (moquette par exemple).

IV.5) Mécanique, durabilité, entretien

Les revêtements de sols sont directement exposés à de nombreuses sollicitations, par exemple:

- Mécanique (poinçonnement, chocs, écrasement, abrasion...)
- Hygrothermique (variation de l'humidité, de la température...)
- Tâches/saleté – tenue aux produits nettoyants (agents chimiques)

L'aspect entretien a un rôle important dans le choix d'un revêtement. Il peut y avoir une grande variabilité sur ce point (exemple : plancher et linoléum). La durabilité des matériaux est aussi un paramètre à considérer. Là encore variabilité importante.

IV.6) Tenue au feu

La plupart des revêtements de sol ont une tenue au feu médiocre.

La réglementation classe la réaction au feu selon 5 catégories :

- M0 : incombustible
- M1 : non inflammable
- M2 : difficilement inflammable
- M3 : moyennement inflammable
- M4 : facilement inflammable

La réglementation impose un niveau minimum de M3 pour les locaux d'habitation. Un label européen (CE) assure que les revêtements ont au moins les caractéristiques minimales en termes de résistance au feu.

Autres points demandant une surveillance :

- Quantité de substance pouvant se transformer en gaz toxique
- Conductibilité électrique (risque d'explosion ou d'électrocution)

IV.7) Classement UPEC

Principes :

- Initié par le CSTB
- Objectif : Moyen simple et efficace de choisir un revêtement adapté au local dans lequel il sera posé et de s'assurer de sa conformité aux normes en vigueur.
- Pas obligatoire (démarche volontaire des fabricants)

Ce classement concerne :

- les carrelages céramiques
- les moquettes
- les revêtements souples
- les parquets

Critères de classement :

- U : usure à la marche
- P : poinçonnement
- E : comportement à l'eau et à l'humidité
- C : tenue aux agents chimiques et produits tâchant

Chacun de ces critères est accompagné d'un chiffre (1 'Faible' à 4 'Très élevé') qui indique le niveau d'exigence. Parfois le chiffre est assorti d'un s (classe intermédiaire)

Exemple :

- Cuisine classée :
- Chambre (sans accès à l'extérieur) :

Classement UPEC des linoléums

Epaisseur (mm)	Mode de pose	Classement			
		U	P	E	C
2	a ou c	4	3	2*	2
2,5	c ou d	3	3	1/2	2
3,2 et 4		4	3	1/2	2

(a) : joints vifs
(c) : joints soudés à chaud avec le cordon spécial
(d) : (c) + étanchéité en rive
* : E1 sur support à base de bois

On trouve pour certains types de sol (PVC) un indice supplémentaire A+ : Il décrit le niveau de sonorité à la marche et l'efficacité acoustique contre les bruits de choc. Il fonctionnera de la même façon que les autres indices.

IV.8) Différents types de revêtement de sol

On trouve de nombreux types de revêtement de sol différents :

- Revêtements traditionnels :
 - Revêtements en pierres naturelles ou reconstituées
 - Carrelage
 - Parquets traditionnels
- Revêtements de sols minces :
 - Dalles thermoplastiques
 - Linoléum
 - Textiles (moquettes)
 - Parquets mosaïques

IV.8.1) Revêtements en pierres naturelles ou reconstituées

Matériaux les plus utilisés : marbre, schiste ardoisier, granit, calcaire, grès...

Epaisseur : entre 7 et 30 mm (Norme NF B 10-401, 402, 502, 508, 509 et 513)

Les dalles en pierres reconstituées sont réalisées avec des éclats de marbre (ou autres), moulés avec un liant (mortier). Elles se composent d'une semelle en mortier de 1,5 cm complétée par une couche décorative.

	Pierre naturelle	Pierre reconstituée
Esthétique	Superbe	Imite parfaitement l'aspect de la pierre naturelle
Durabilité	Très robuste	Quasiment impossible à casser
Couleurs	Toutes, naturelles	Toutes, teintée dans la masse
Formes	Dalles, carreaux, pavés	Dalles et carreaux
Pose	<ul style="list-style-type: none">Le plus souvent scelléePierres lourdes et souvent parfaitement calibrées (joints plus larges)	<ul style="list-style-type: none">Collée ou scelléeFacilitée par le calibrage très net des carreaux et leur faible épaisseurLégère donc mise en oeuvre simplifiée
Entretien	<ul style="list-style-type: none">Traitement hydrofuge souvent nécessaireTraitement imperméabilisantNettoyage à l'eau savonneuse	<ul style="list-style-type: none">Traitement hydrofuge après la poseNettoyage à l'eau savonneuse
Prix au m²	45 à 200€	A partir de 50€
Prix pose au m²	40 à 80€ selon la technique employée	40 à 80€ selon la technique employée

IV.8.2) Parquet

Les parquets sont des revêtements en bois. Leur couche de recouvrement en bois doit être supérieure à 2 mm.

Le parquet peut être de différentes essences :

- Bois européens :
 - Feuillus (châtaignier et chêne)
 - Résineux (pin maritime, pin sylvestre, épicéa, sapin)
- Bois tropicaux (asaméla, azobé, sipo...)

On distingue les parquets :

- Parquets en bois massif
- Parquets à coller
- Parquets en contrecollés
- Stratifié

IV.8.2.1) Parquet en bois massif

Il y en a de deux types :

- En panneaux de bois massif
- En lames de bois

Dimension des lames :

- Epaisseur : 22 mm
- Largeur :
 - Feuillus : 4,5/11 cm
 - Résineux : 6/16 cm
- Longueur :
 - Feuillus : 0,25/1 m
 - Résineux : 2/3,6 m

Panneaux :

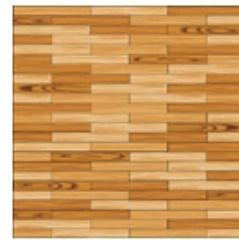
- Epaisseur : 23 mm
- Carré de 1m de côté
- Essentiellement chêne



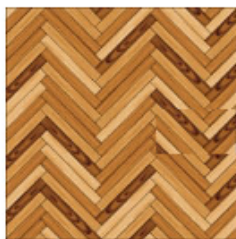
parquet mosaïque



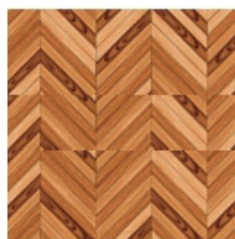
parquet à coupe perdue



parquet à coupe de pierre



parquet à bâtons rompus



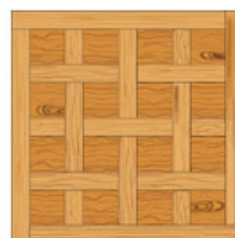
parquet en chevrons



parquet en vannerie



parquet d'Arenberg



parquet Chantilly



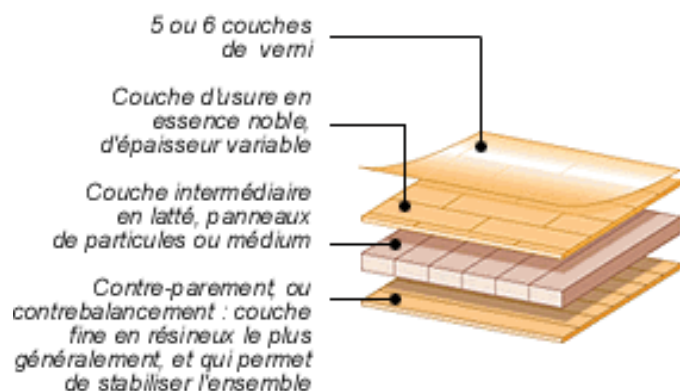
parquet Versailles

IV.8.2.2) Parquet à coller

- Parquet mosaïque en panneaux (marqueterie) : Parquet industrialisé à coller
 - Epaisseur : 6 ou 8 mm
 - Module en chêne ou châtaignier (ex : 5 lames de 120mmx24mm)
 - Assemblage en panneaux de 480x480 (16 module par exemple)
- Parquet mince de 10 mm
 - Réalisé en chêne en éléments de 25/30 mm de largeur
 - Pré-assemblés en panneaux (24x50 cm)
 - A coller directement sur chape de ciment
- Peut se poser sur tout support, mais attention :
 - Planéité
 - Humidité : taux d'humidité inférieur à 3%.

IV.8.2.3) Parquet en contrecollés

- Constitués de feuilles de 3/6mm d'épaisseur contrecollés sous presse sous un dossier en panneau de particules de 10 à 19 mm d'épaisseur.
- Côté pose, les parquets contrecollés peuvent être cloués, collés ou flottants. La pose flottante très pratiquée consiste à le poser sur un matériau isolant ; ils sont ainsi désolidarisés du sol support.
- Apparence proche d'un parquet massif mais beaucoup moins cher (moins durable aussi)

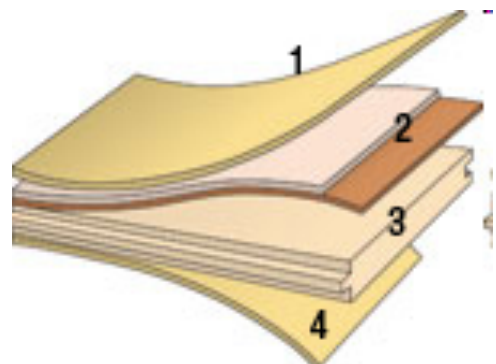


IV.8.3) Stratifié

Il n'a pas l'appellation « Parquet » (seulement si la couche de recouvrement en bois est supérieure à 2 mm).

Composition :

- couche d'usure : couche supérieure, constituée du décor (2) et recouverte d'une protection et couche de finition (1)
- support central (3) : constitué d'un panneau de particules de moyenne ou haute densité selon la qualité du produit
- contre-balancement (4) : couche inférieure du stratifié, stabilise le revêtement et intègre de plus en plus souvent une sous-couche acoustique.



Avantages :

- Peu cher
- Facilité de pose
- Entretien moindre qu'avec un parquet classique

Inconvénients :

- Acoustique – Bruit d'impact (de moins en moins vrai)
- Look un peu cheap
- Durabilité (porte à débat)

IV.8.4) Revêtement plastique

Plus importants des revêtements minces

Constituants : polychlorure de vinyle (PVC)

Grande variété (offre beaucoup de possibilités) :

- nombreuses formes : lés continus, dalles, avec ou sans sous-couche...
- souples, semi-rigides, rigides.
- grande possibilité de coloration dans la masse

Avantages :

- Isolation intéressante car souvent une montés sur une sous-couche isolante
- Bonne résistance à l'usure, aux acides, aux taches.
- Extrêmement variés dans leur apparence : lisses, granuleux, marbrés, unis
- Pose facile
- Entretien
- Prix, pose comprise, très raisonnable

Inconvénients :

- Durabilité
- Aspect cheap

IV.8.5) Linoleum

Le linoleum est matériau composé principalement de liège et d'huile de lin oxydée, appliqués sur une toile de jute et formant corps avec elle. Il se présente en rouleau ou en dalles, uni ou imprimé ou encore incrusté. Il permet des combinaisons décoratives variées, mais demande à être posé par un spécialiste car sa durée de vie est fonction d'une pose correcte, sur un sol parfaitement plat. Ce revêtement convient pour les lieux de passage, les escaliers, les halls et les pièces d'habitation.

IV.8.6) Caoutchouc

Ce revêtement est constitué de caoutchouc synthétique (élastomères) et/ou de caoutchouc naturel (latex). Aujourd'hui, il est surtout en caoutchouc SBR1, obtenu par copolymérisation du styrène et du butadiène. Ils contiennent en plus des charges minérales et différents additifs. Il est proposé en rouleaux ou en dalles (le plus courant), sous forme de produits homogènes ou hétérogènes, monocouches ou multicouches, dans des épaisseurs comprises entre 1,8 à 14 mm. Les revêtements en caoutchouc « naturel » contiennent souvent des quantités importantes en caoutchouc synthétique (jusqu'à 50%). La production des revêtements de sol en

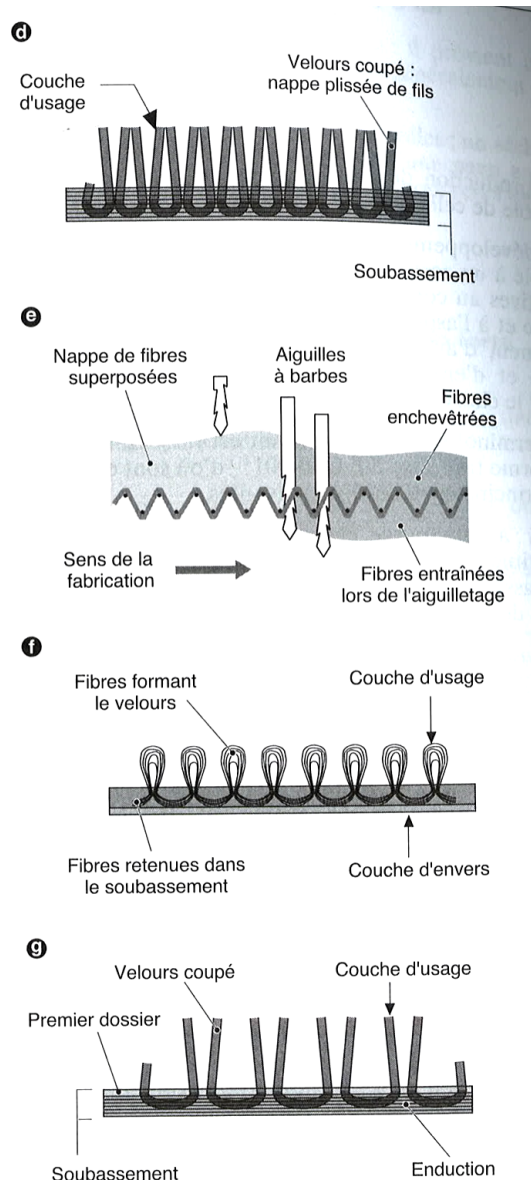
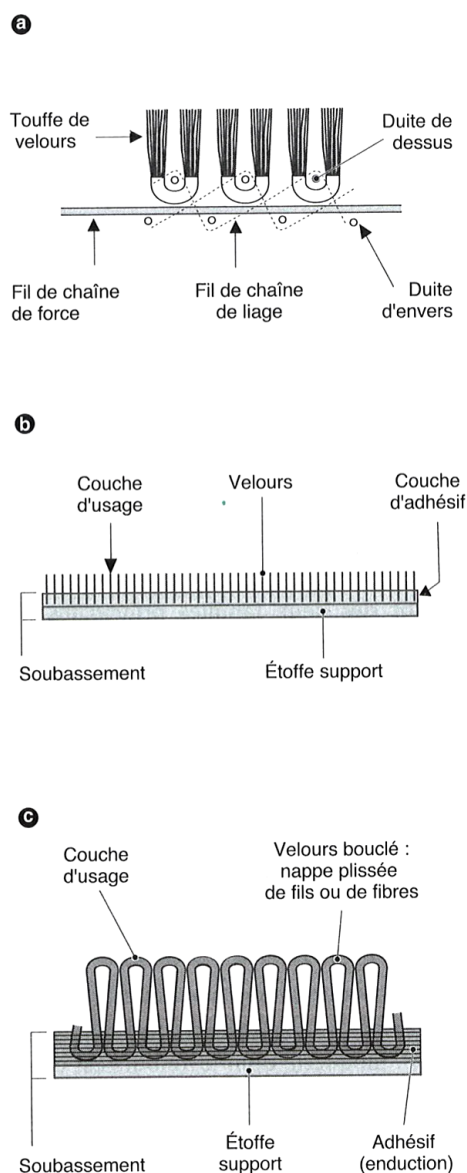
caoutchouc est simple et fait intervenir un petit nombre seulement de processus chimiques (plus écologique que le pvc, mais plus cher).

IV.8.7) Textile (moquette)

C'est un revêtement très répandu. La norme NF G00-001 expose la terminologie pour les revêtements textiles. Les différents matériaux utilisés sont :

- fibres naturelles :
 - animales (laine surtout)
 - végétales (coton, sisal, jute) – plus rare
- fibres synthétiques :
 - polyamide
 - polypropylène
 - acrylique
 - polyester

Il est disponible sous forme de dalles ou de rouleau. Les revêtements textiles peuvent être classés selon le type de fabrication : (a) tissé, (b) floqué, (c) et (d) nappé, (e) aiguilletés plats, (f) aiguilletés à velours, (g) touffetés.



Caractéristiques des revêtements textiles:

Conservation d'aspect :

- Boulochage : formation de petits agglomérats de fibres
- Ebouriffage : apparition de fibres formant en surface un duvet
- Ecrasement du velours
- Arrachage de fibres
- ...

Résistance mécanique :

- Résistance à l'abrasion : perte progressive de matières en surface due à une action mécanique ; liée à celles des fibres
- Résistance à l'écrasement (sous l'action d'une charge statique ou dynamique)

Diminution du bruit de choc

- Tapis plats aiguilleté à envers textile : $L_n = 65$ dB
- Tapis plats aiguilleté à sous couche cellulaire : $L_n = 55$ dB
- Moquette collée : $L_n = 47$ à 62 dB
- Moquette tendues sur thibaude (sous couche de moquette) : $L_n = 41$ dB

Sûreté de marche : considéré comme très bon

Résistance au feu : point noir pour les textiles (à contrôler)

- Dépend du type de fabrication et du matériau
- Souvent classer M3 ou M4 (difficilement M2 ; jamais M1)

Thermique

- Isolation faible (due à l'épaisseur trop fine)
- Bonne température de contact

Entretien

- Nécessité d'entretien régulier (nettoyage)
- Impossibilité d'utiliser de nombreux produits chimiques d'entretien

Prix

- dépend essentiellement de la matière de la moquette, de sa qualité, et des fabricants.
- globalement de 3 € à 200 € le m²

V) Peinture

V.1) Définition

La norme NF EN ISO 4618 donne la définition suivante pour la peinture :

« *Peinture : produit liquide, en pâte ou en poudre qui, appliqué sur un support, forme un film possédant des qualités protectrices, décoratives et/ou spécifiques.* »

Feuil : Revêtement continu résultant de l'application sur un support d'une ou de plusieurs couches.

Subjectile : *Surface sur laquelle est appliquée ou doit être appliquée une couche de produit (peintures, vernis ou préparations assimilées).*

V.2) Composants

Les peintures sont constituées de 3 composants :

- Liant
- Solvant et éventuellement un diluant
- Pigments

Les liants :

Elément essentiel d'une peinture. Il donne l'élasticité et la souplesse au feuil. Il assure l'adhérence au support et le protège.

Liants les plus utilisés : acrylique, alkyde-glycérophthalique, alkyde-uréthane, epoxydine et polyuréthane

Les solvants :

Liquides volatils amenant la peinture à la consistance voulue. Ils facilitent la mise en œuvre. Ils disparaissent par évaporation lors du séchages.

Principaux solvants : eau, hydrocarbures (souvent toxiques)

Principaux diluants : eau, white-spirit

Les pigments :

Poudres très fines insolubles dans le milieu en suspension donnant couleur et résistance au revêtement.

Principaux pigments : colorants de synthèse

V.3) Caractéristique de la peinture

Les caractéristiques à considérer pour une peinture sont :

- Séchage
- Aspect de surface
- Pouvoir couvrant
- Viscosité
- Thixotropie
- Pollution

Séchage :

Le séchage passe par trois étapes :

- Évaporation des solvants et diluants
- Stade sec : le film ne colle plus aux doigts
- Stade recouvrable : une nouvelle couche peut être posée

Il y a trois types de séchage :

- Oxydation : oxydation des huiles siccatives
- Évaporation du solvant
- Polymérisation : catalyseur ou durcisseur active le séchage

Facteurs pouvant altérer le séchage :

- Température ambiante
- Température du support
- Humidité
- Aération du local

Pouvoir couvrant :

- En surface : quantité minimale nécessaire pour obtenir un film continu sur une surface donnée (en m²/kg)
- En opacité : faculté de masquer le support (mesuré en mm à l'aide d'un cryptomètre de Pfund)

Viscosité :

- Caractérise la fluidité d'une peinture.
- Rapport entre la contrainte tangentielle et la vitesse de cisaillement dans une substance liquide.
- Les peintures peu fluides sont dites à haute viscosité, les peintures très fluides sont dites à faible viscosité.

La viscosité se mesure au moyen d'un viscosimètre. Le viscosimètre indique le temps d'écoulement en secondes à une température de 20 °C jusqu'à ce que le godet soit complètement vide.

Thixotropie : Phénomène par lequel un produit passe de l'aspect gel à l'aspect fluide par simple agitation. Certaines peintures sont conditionnées sous forme de gel. Elles sont caractérisées alors par leur thixotropie.

Pollution : On se dirige vers des systèmes de peinture sans solvants toxiques. Il y a une régression des peintures glycéro utilisant solvants à base de composés organiques volatiles (COV).

Depuis 1^{er} janvier 2007 ; directive européenne limitant les COV, renforcée en 2010 :

	PA	PS
Peintures intérieures (murs et plafonds)	30 g/l	30 g/l
Peintures intérieures brillantes (murs et plafonds)	100 g/l	100 g/l
Peintures intérieures et extérieures boiseries	130 g/l	300 g/l

PA : Phase aqueuse

PS : Phase solvant

V.4) Subjectile

Il s'agit de la surface devant recevoir la peinture et les enduits. On distingue

- Parements plâtre
- Parement à base de liants hydraulique (maçonnerie, béton brut)
- Enduit au mortier
- Subjectile bois
- Subjectiles métalliques
- Subjectiles plastiques

Le système de finition dépendra de :

- Type de support
- Intérieur ou extérieur
- Type de local (pièce sèche ou humide)
- Planéité du support
- Température, humidité
- ...

V.5) Déroulement des travaux de peinture

Travaux préparatoire :

- Dégraissage
- Dépoussiérage
- Décapage
- Ponçage
- Brossage
- Décapissage

Travaux d'apprêt :

- Couche primaire (pour les supports métalliques en général)
- Imprégnation sur bois (fongicide, lasure...)
- Couches d'impression (isolant, hydrofuge, neutralisante, accrochage, pénétrante...)
- Rebouchage
- Dégrossissage (pour traiter irrégularités de surface des maçonneries)
- Masticage
- Enduisage (recouvrir de façon complète et continue la totalité du support pour corriger les défauts de surface et l'uniformiser)

Travaux de finition :

- Couche intermédiaire
- Révision (vérification, contrôle et retouche)
- Couche de finition
- vernissage des bois

V.6) Défauts et altération des peintures

La peinture peut être affectée à de nombreux défauts. On peut citer :

Défauts d'aspects :

- **Embus** : couleurs ternes dues à un enduit pas assez couvrant ou au manque d'une couche
- **Matages** : voile sur les peintures dû à un dépôt de vapeur avant séchage
- **Décoloration** : due à l'instabilité du solvant, à la remontée des pigments, à l'incompatibilité entre composants ou entre le colorant et le support
- **Jaunissement** : dû à l'oxydation trop rapide du liant, à l'altération des constituants solides)
- **Rides** : dues à un séchage superficiel trop rapide ou à une température non adaptée

- **Tachage** : modification non uniforme de la couleur (irisation, marbrure...) ; du à différents éléments perturbateur dans la peinture
- **Perte de brillant** : fonction de la qualité de la peinture, de la nature du subjectile...

Altération profonde :

- **Poissage** : dû à un séchage contrarié (humidité, température...) ou à un manque de siccativité
- **Ramollissement** : dû en surface à l'attaque d'une atmosphère agressive, en profondeur, à la réaction chimique des fonds (pH)
- **Farinage** : libération d'un ou plusieurs constituants du film à l'état de fines poussières peu adhérentes ; dû à un pigment non adapté, à un liant insuffisant ou de mauvaise qualité, à un subjectile très poreux insuffisamment nourri
- **Craquelage** : tension superficielles trop différentes entre les couches successives ou manque de souplesse de la peinture
- **Faïençage** : craquelage superficiel
- **Ecaillage** : décollement en forme d'écaille ; dû à un subjectile trop imperméable, à la présence d'élément empêchant l'accrochage, à une peinture non approprié au fond
- **Décollement** : séparation par plages d'une ou plusieurs couches du film
- **Cloquage** : déformations convexes du film : dû à la présence d'humidité ou de gaz sous le film, à la présence de sève dans certains bois
- **Efflorescence** : rejet par le subjectile humide de sels traversant les couches de peintures et cristallisant en profondeur ou en surface
- **Champignons et moisissures** : présence dans le subjectile ou certaines peintures, de germes et d'éléments permettant le développement de moisissures et champignons (dans des conditions de températures et d'humidité adéquates)

VI) Electricité

VI.1) Quelques notions à connaître

Tension électrique : circulation du champ électrique le long d'un circuit. Elle correspond à la différence de potentiel électrique entre 2 points d'un circuit. Elle est notée U et est mesurée en Volt (V). On peut mesurer la tension à l'aide d'un voltmètre ou d'un multimètre branché en parallèle/dérivation sur le circuit.

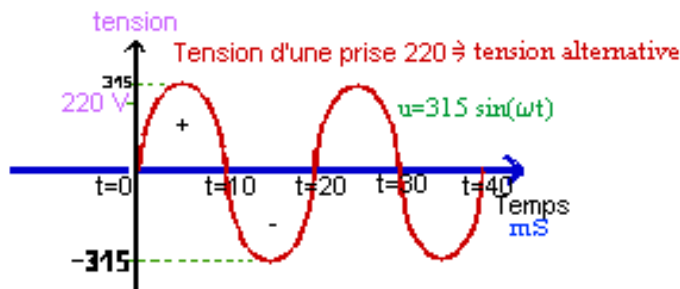
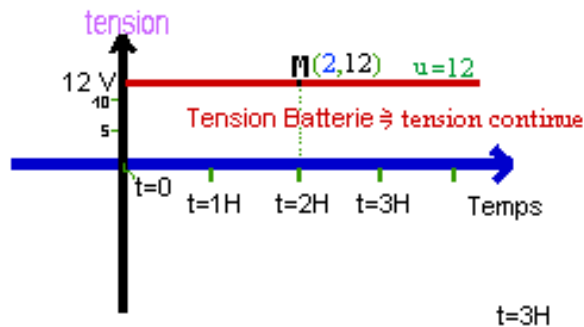
Intensité : quantité d'électricité (c'est-à-dire le nombre d'électrons) qui passe dans un circuit pendant un temps donné. Elle est notée I et est mesurée en Ampère (A)

Puissance : quantité d'énergie par unité de temps fournie par un système à un autre. Elle est notée P et est donnée en watts (W) : $P = U \cdot I$

Résistance : propriété d'un matériau à s'opposer au passage d'un courant électrique. Elle est souvent désignée par la lettre R et son unité de mesure est l'ohm (symbole : Ω). Dans une résistance, on a : $U = R \cdot I$

Fréquence : Le courant électrique que fournissent les distributeurs d'électricité est un courant alternatif. Il est plus facile à produire qu'un courant continu et son transport est plus économique. La forme la plus utilisée de courant alternatif est le courant sinusoïdal, essentiellement pour la distribution commerciale de l'énergie électrique.

Un courant alternatif périodique est caractérisé par sa fréquence, mesurée en hertz (Hz). C'est le nombre d'« allers-retours » qu'effectue le courant électrique en une seconde.



Electrocution : choc électrique entraînant un effet physique ressenti lors du passage du courant électrique dans le corps,

- de 10 à 20 mA : apparition de picotements, puis tétanisation des muscles : il n'y a pas de danger
- de 25 à 30 mA : tétanisation des muscles avec contraction de la cage thoracique et risque d'asphyxie
- au-dessus de 30 mA : fibrillation du cœur et arrêt des battements cardiaques

Si un courant d'intensité supérieure à 30 mA passe dans le corps humain pendant quelques secondes, il entraîne la mort. Sous une tension de 220 V, ce seuil est souvent dépassé.

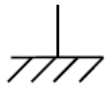
Par ailleurs, la résistance du corps humain diminue dans certaines conditions : en milieu humide, la peau laisse passer plus facilement le courant dont l'intensité est alors plus grande.

En effet, la résistance du corps humain peut être assimilée à une résistance propre du milieu organique voisine de 300 à 500 W en série avec une résistance de contact de la peau variable selon les situations,

- mains sèches, la résistance vaut entre 10 000 et 50 000 W
- mains humides, la résistance ne vaut plus que 1 000 W
- Dans les conditions d'immersion (salle de bain par exemple), la peau présente une résistance de contact nulle.

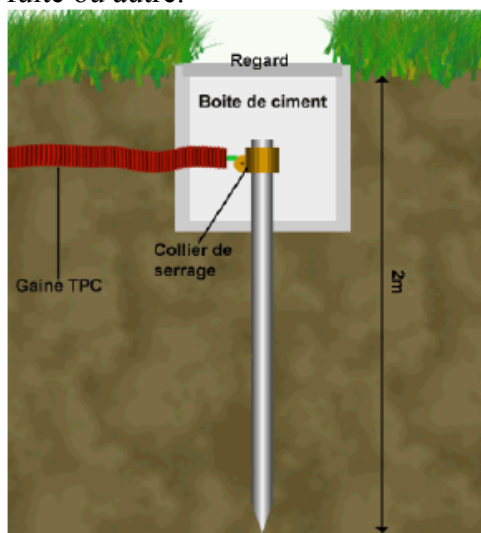
VI.2) Les différents éléments d'une prise

Masse : La masse est toute partie conductrice accessible au toucher normalement hors tension mais qui peut l'être en cas de défaut d'isolement. Pour la sécurité des personnes deux masses accessibles simultanément doivent présenter une tension entre elle aussi faible que possible en cas de défaut. Pour cette raison toutes les masses sont interconnectées par un conducteur habituellement aussi connecté à la terre. En courant continu (ex : batterie de voiture); la masse est reliée à la borne négative.



symbole de la masse

Terre : Masse conductrice de la terre, dont le potentiel électrique en chaque point est considéré comme égal à zéro. Il désigne souvent un conducteur relié à un piquet de terre dans le sol ou à un câble (tresse ou boucle) enfuit sous les fondations des bâtiments. Les prises ainsi que les appareils métalliques sont en général reliés à la terre pour évacuer les courants de fuite ou autre.



symbole de la terre

Neutre : conducteur assurant le retour du courant dans un circuit. Le neutre est la référence de potentiel ou de tension pour les phases ; il n'y a qu'un seul neutre commun à toutes les phases. Il constitue la référence "zéro volt" du générateur, et il est parfois matérialisé par un fil. Dans les installations électriques, le neutre est distingué par une couleur spécifique : du bleu dans quasiment tous les pays.

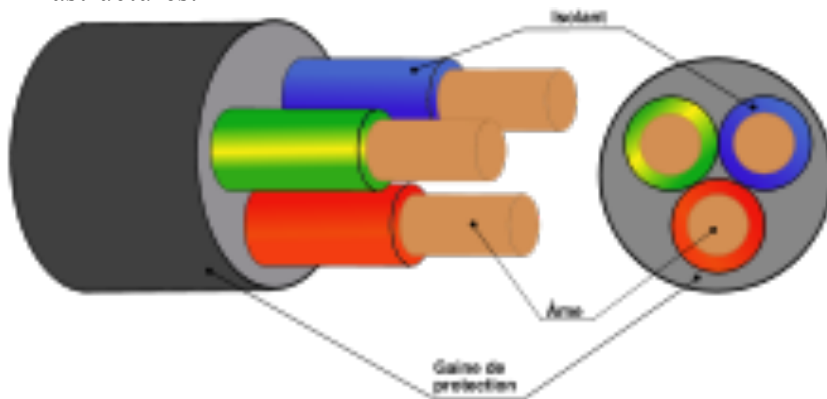
Phase : conducteur actif assurant l'arrivée du courant dans un circuit. Il y a généralement plusieurs phases lors de la production d'électricité qui ont entre elles une propriété spécifique. Le courant domestique est alternatif, donc la phase ne correspond pas au pôle + d'une pile mais prend le rôle de + puis de - successivement, par exemple 50 fois par seconde pour du 50 Hz.



VI.3) Courant monophasé et triphasé

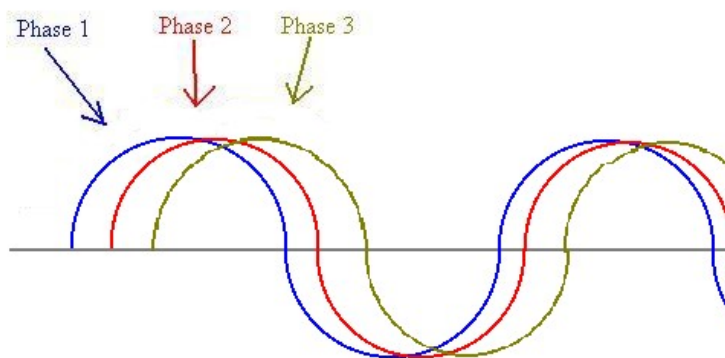
Courant Monophasé : un courant électrique alternatif fourni au moyen d'une ligne bifilaire (c'est-à-dire une seule phase et un neutre). Le courant monophasé est principalement utilisé pour l'éclairage et le chauffage, lorsque l'emploi de moteurs de forte puissance n'est pas nécessaire. C'est celui qui est classiquement utilisé dans les logements.

Les distributions en monophasé sont généralement utilisées dans les zones rurales, où le coût d'un réseau triphasé est trop important et où les charges ne nécessitent pas de telles infrastructures.



Courant triphasé : courant électrique alternatif composé de trois tensions sinusoïdales de même fréquence et généralement de même amplitude qui sont déphasées entre elles. Le courant triphasé permet d'éviter les problèmes de puissance inhérent au courant monophasé (en régime sinusoïdal). De plus, il offre un meilleur rendement dans les alternateurs et moins de perte lors du transport de l'électricité. Il est « transformé » habituellement en monophasé pour l'usage domestique.

Le tri-phasé en courbes

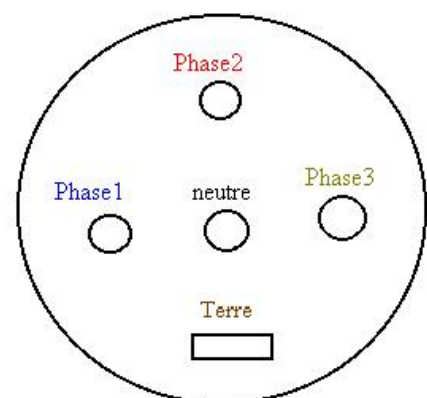


Fréquence en France = 50 Hz

Décalage en fréquence de 1/3 de fréquence

Chaque phase est indépendante l'une de l'autre même avec un neutre commun

Une prise tri-phase



VI.4) Réseau

En France presque tous les particuliers sont alimentés en « 230V 50Hz monophasé » (réseau : triphasé à plus de 500kV). Dans une installation domestique, le fournisseur d'électricité vous

propose un compteur d'où partent les deux fils conducteurs du « secteur », la phase et le neutre.

- Le neutre a un potentiel électrique proche de celui de la terre, soit de 0 V
- Le potentiel de la phase varie entre -325 et $+325$ V

Remarque : Une tension alternative de 230V 50 Hz varie 50 fois par seconde entre -325 V et $+325$ V. La tension efficace U_{eff} se définit à partir de l'amplitude de tension (ici $U_{\text{max}} = 325$ V) par la relation : $U_{\text{eff}} = U_{\text{max}} / \sqrt{2}$

VI.4.1) Alimentation

La distribution du courant est assurée par le réseau EDF

Immeubles collectifs : courant distribué aux différents étages par des colonnes montantes. Branchement individuel réalisé à partir de chaque colonne montante ; la ligne de branchement qui s'y raccorde traverse le coupe circuit principal individuel pour atteindre le compteur. Ensuite la ligne va au disjoncteur implanté dans l'appartement de l'utilisateur.

Maisons individuelles : le point de livraison n'est pas la colonne montante, mais l'extrémité du câble de distribution EDF qui aboutit à un coffret en limite de propriété. La liaison entre le compteur et le disjoncteur de l'abonné (à l'intérieure de la maison) est faite par un câble enterré

VI.4.2) Compteur

Il est fourni par EDF dès lors que vous avez fait une demande de raccordement au réseau électrique, le compteur ne doit pas être modifié. Il est généralement disposé en extérieur, non loin de l'habitation, et uniquement accessible aux professionnels de l'opérateur énergétique grâce à un coffret de comptage encastré dans un mur déjà construit.

Rôle : mesurer la consommation en kilowattheures (kWh). Il permet de faire facturer la consommation d'énergie utilisée par chaque personne. Le compteur est raccordé au disjoncteur de branchement.

VI.4.3) Disjoncteur de branchement

Il est à l'origine de l'installation électrique intérieure. Il a pour rôle de protéger les lignes et les appareils électriques contre les échauffements préjudiciables dus aux surcharges excessives. Sa zone de fonctionnement peut être adaptée aux besoins de chaque utilisateur. Il est fourni par EDF; on le choisit parmi les types suivants:

- Bipolaire 45 A (choix parmi 15 – 30 – 45 A)
- Bipolaire 60 A (juste 60 A)
- Tétrapolaire 30 A (choix parmi 10 – 15 – 20 – 25 – 30 A)
- Tétrapolaire 60 A (choix parmi 30 – 40 – 50 – 60 A) / non différentiel

Le disjoncteur différentiel est basé sur le principe suivant : dans une installation normale, le courant électrique qui arrive par un conducteur doit ressortir par un autre. Dans une installation monophasée, si le courant dans le conducteur de phase au départ d'un circuit électrique est différent de celui du conducteur neutre, c'est qu'il y a une fuite.

VI.4.4) Coupe-circuit

Il permet de couper automatiquement le circuit lorsque l'intensité devient dangereuse pour les canalisations. Pour cela, il utilise un fusible calibré en fonction du niveau d'intensité à respecter. Une installation doit comporter plusieurs circuits indépendant avec pour chacun leur propre coupe-circuit.

Exemple :

- 1 ou 2 circuits pour l'éclairage
- 1 ou 2 circuits pour l'alimentation des prises de courant
- 1 ou 2 circuits pour les appareils de forte puissance (cuisinière, chauffe-eau...)

VI.4.5) Distribution

Elle comprend les canalisations et les appareillages assurant le transport de l'énergie électrique depuis le tableau général jusqu'au point d'utilisation. Elle débute par le tableau de distribution électrique qui est placé directement sous le disjoncteur de branchement. Son rôle est de transmettre de l'énergie dans l'habitation (il ouvre les voies)

Il contient l'essentiel de l'appareillage électrique porté par les disjoncteurs divisionnaires (protection des différents circuits par le biais de disjoncteur ou de coupe-circuits)

Il doit être en conformité avec la norme NF C 61-910.

Canalisation : Les canalisations électriques sont caractérisées par :

- Conducteur ou câble : transmission de l'énergie
- Conduit, chemin de câbles, moulures, goulottes : assurent continuité de la protection mécanique
- Mode de fixation ou de pose : montage sur les parois, dans les parois, dans le sol, en l'air ou dans l'eau

Câble : Tous les conducteurs sont admis pour servir de câble. La pose des câbles dans les conduits peut être nécessaire pour des raisons mécaniques

Section des conducteurs isolant compris (en mm ²)		
Section de l'âme en cuivre (en mm ²)	Séries	
	HO7 V-U ou R	HO7 V-K
1,5	8,55	9,5
2,5	11,9	13,85
4	15,2	18,1
6	22,9	31,2
10	36,3	45,4
16	50,3	60,8
25	75,4	95

Conduit : Matériel de pose constitué d'éléments tubulaires, non ouvrant et confèrent à des conducteurs ou câbles une protection continue supplémentaire Les conduits sont fabriqués dans des matériaux qui garantissent une qualité :

- résistance mécanique (notamment résistance à l'écrasement)
- étanchéité à l'eau
- résistance aux températures élevées
- non-propagation des flammes
- protection contre les condensations internes
- facilité de mise en œuvre

Les conduits sont désignés par un code de désignation de la CEI (Commission Electrotechnique Internationale) comprenant un ensemble de lettres et de chiffres.







Exemple : NF-USE XX ICTL 3422

- NF-Use : marque de conformité
- XX : diamètre extérieur en mm (16, 20...)
- 1^{er} lettre : isolement (Isolant, Composite, Métallique)
- 2^{ème} lettre : mise en œuvre (Rigide, Cintrable, Cintrable Transversalement, Souple)
- 3^{ème} lettre : nature de surface (Lisse, Annelé)
- 1^{er} chiffre : Résistance à l'écrasement (1 : très léger – 5 : très élevé)
- 2^{ème} chiffre : Résistance aux chocs (de 1 à 5 aussi)
- 3^{ème} chiffre : Température mini d'utilisation (1:5°C – 5 : -45°C)
- 4^{ème} chiffre : Température maxi d'utilisation (1 : 60°C – 7 : 400°C)

Mode de pose des conduits :

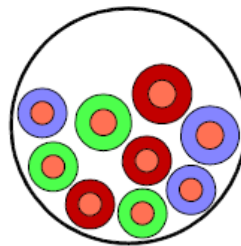
- apparent
- encastré
- dans les vides de constructions
- dans les caniveaux fermés

Caractéristiques de conduits courants

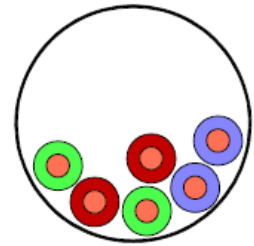
Désignation et nature * Ancienne désignation	Montage apparent	Montage encastré	
		Pose avant construction de la maçonnerie	Pose après construction de la maçonnerie
ICTL 3421 Isolant Cintrable Transversalement élastique Lisse  (ICD6 PE)*	Gris : admis en A61-A62 Orange : interdit	Admis et doivent être fixés aussitôt mis en place. Sur les planchers en dalle pleine avant coulage de la chape, ne sont admis que s'ils sont soustraits aux risques mécaniques.	Admis dans des dimensions suffisantes.
ICTA 3422 Isolant Cintrable Transversalement élastique Annelé  (ICT6 PE)*			
ICA 3321 Isolant Cintrable Annelé  (ICO 5 PE)*	Admis en A61-A62	Admis si les conduits sont protégés pendant la construction contre les chocs dommageables et en parcours verticaux.	Admis dans des saignées.
IRL 3321 Isolant Rigide Lisse  (IRO 5 PE)*	Admis en A61-A62	Admis si les conduits sont protégés pendant la construction contre les chocs dommageables et en parcours verticaux.	Admis dans des saignées.
MRL 5557 Métallique Rigide Lisse  (MRB 9 PE)*	Admis en A61-A62-A63-A64	Admis et doivent être fixés aussitôt mis en place.	Admis dans des tranchées de dimensions suffisantes.
CSA 4421 Composite Souple Annelé  (MSB 7 APE)*	Admis en A61-A62-A63	Comme les conduits ICTL et ICTA gris.	Comme les conduits ICTL et ICTA gris.

Les dimensions intérieures des conduits doivent permettre de tirer et retirer facilement les conducteurs ou câbles. Cette règle est satisfaite si le parcours comporte peu de coudes et si la section totale de conducteurs ou des câbles est au plus égale au tiers de la section intérieure du conduit (section utile).

Conduits conformes à une publication internationale		
Référence (diamètre extérieur en mm)	Section intérieure utile (en mm ²)	
	IRL	ICA, ICTA, ICTL
16	43	30
20	74	52
25	119	88
32	191	155
40	297	255
50	473	410
63	755	724

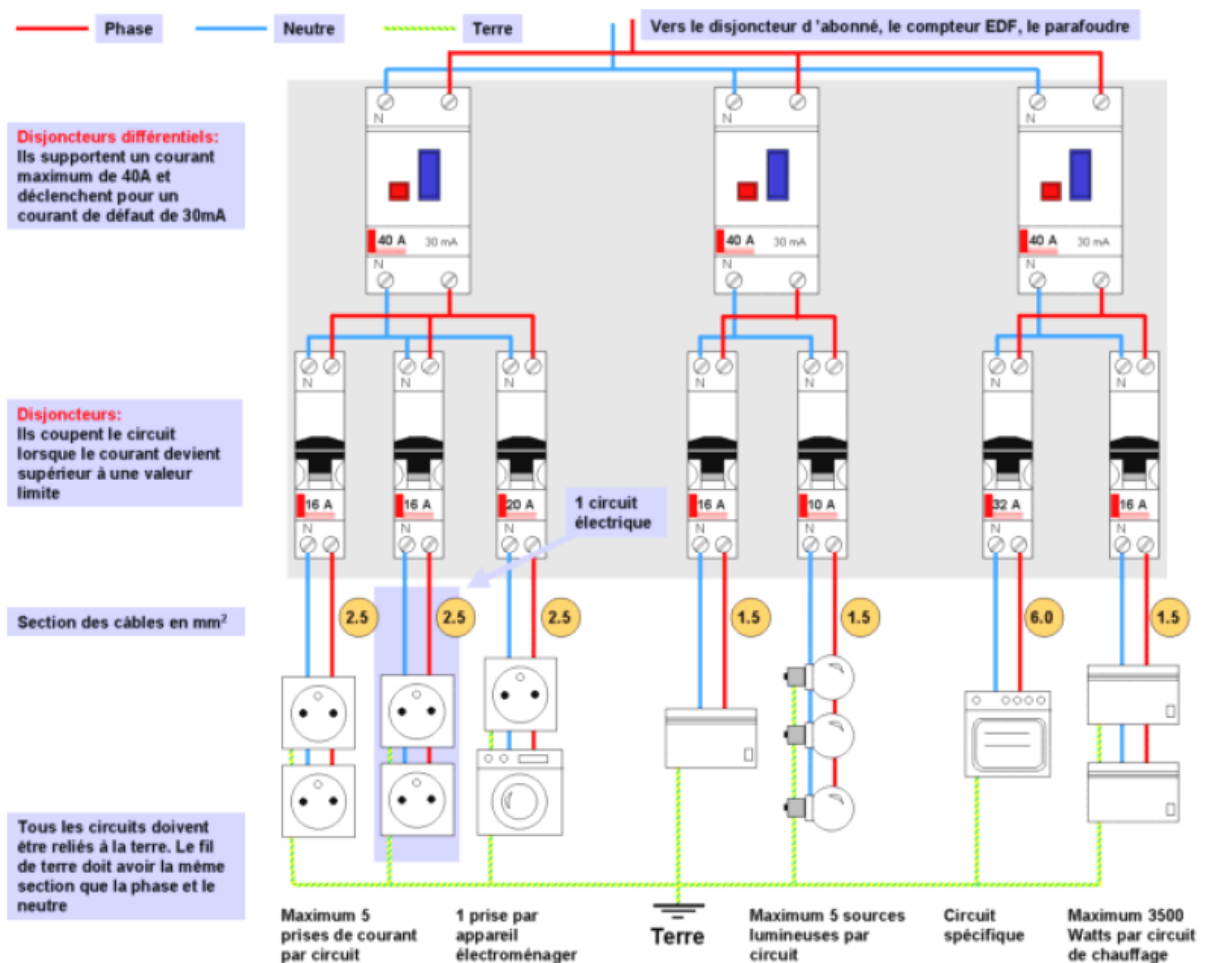


Incorrect



Correct

VI.5) Schéma d'une installation classique



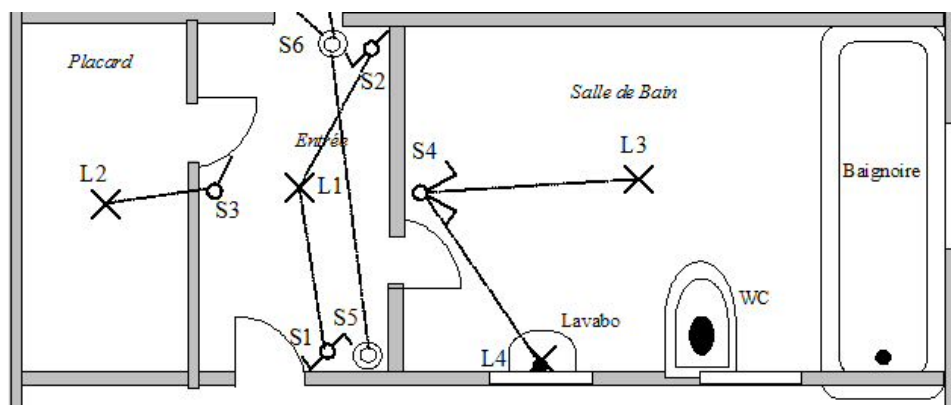
VI.6) Représentation des installations

Il y a différents schémas :

- Plan architectural
- Schéma de distribution
- Schéma lumières

VI.6.1) Plan architectural

Il est réalisé à partir du plan de l'architecte : représentation des points lumineux, des prises de courant et des appareils électriques (notamment interrupteurs).



IDENTIFICATION DES CONDUCTEURS	
Symbole	Désignation
	Conducteur neutre
	Conducteur de protection (PE)
	Conducteur de protection et neutre confondus (PEN)
	Exemple : canalisation triphasée + neutre + PE

CANALISATIONS	
Symbole	Désignation
	Canalisation montante
	Canalisation descendante

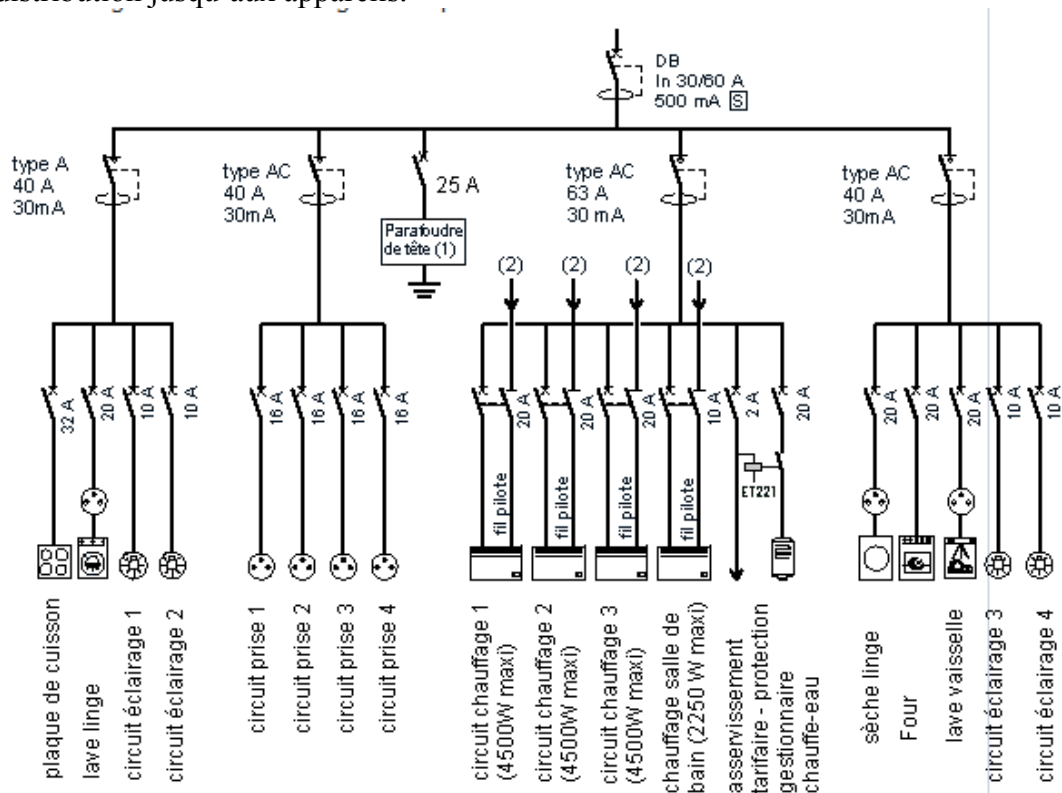
APPAREILS DIVERS	
Symbole	Désignation
	Gâche électrique
	Interphone portier
	Interrupteur horaire

	Coffret de répartition avec 3 canalisations
--	---

INTERRUPTEURS	
Symbole	Légende
	Interrupteur symbole général
	Interrupteur à lampe témoin
	Interrupteur à temps de fermeture limité
	Interrupteur bipolaire
	Commutateur unipolaire
	Interrupteur unipolaire va-et-vient
	Permutateur (double va-et-vient)
	Interrupteur gradateur
	Interrupteur à tirette
	Bouton-poussoir
	Bouton-poussoir lumineux
	Minuterie

VI.6.2) Schéma de distribution

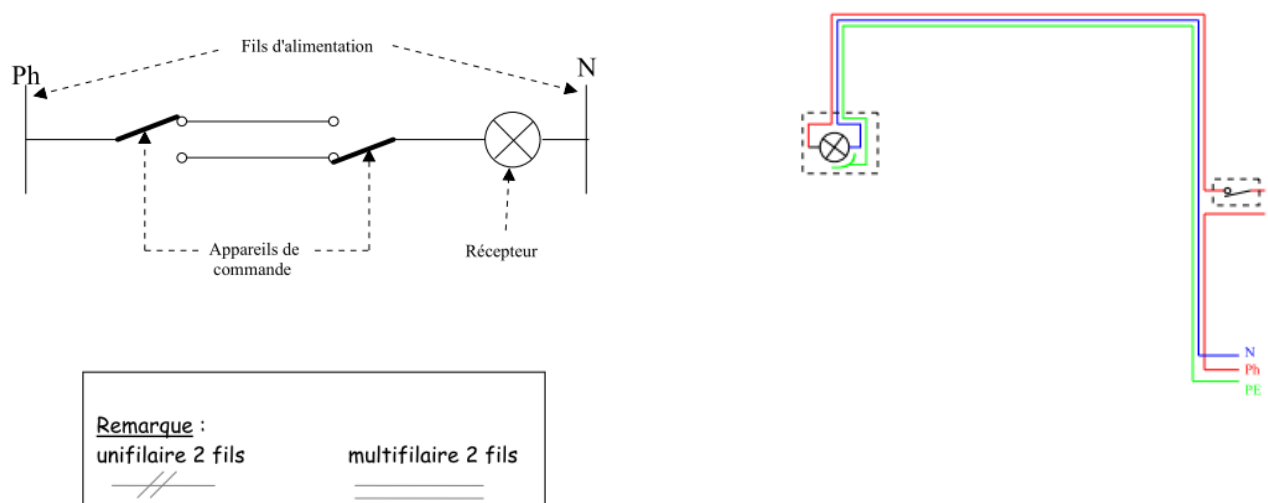
Il indique le parcours des canalisations électriques dans un bâtiment depuis le tableau de distribution jusqu'aux appareils.



VI.6.3) Schéma lumières

Schéma développés ou de principe : schéma d'étude explicatif permettant la compréhension rapide d'une installation ou d'un équipement (ne tient pas compte de la géographie réelle). On peut soit avoir :

- Schéma multifilaire : on représente tous mes fils de l'installation
- Schéma unifilaire : un seul trait désigne un ou plusieurs conducteurs



VI.7) Réglementations

Les installations électriques font l'objet de diverses réglementations, que l'on peut classer en fonction de l'autorité ministérielle dont elles émanent. Les principales réglementations s'appliquant aux bâtiments sont les suivantes.

- **Construction** : conformité des bâtiments neufs aux normes NF C 14-100 (Branchements sur le réseau public à basse tension) et NF C 15-100 (Installations électriques à basse tension).
- **Travail** : protection contre les dangers des courants électriques dans les locaux où sont employés des travailleurs
- **Intérieur** : règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les « Établissements recevant du public » (ERP) et les « immeubles de grande hauteur »

Les salles d'eau font l'objet d'une réglementation particulière (danger lié à l'eau). La norme (NF C 15-100) considère quatre volumes de sécurité : 0 - 1 - 2 - 3, concernant les divers matériels implantés (chauffage électriques et autre appareillages) dans les locaux contenant une douche ou une baignoire.

Volume 0 : c'est celui de la douche ou de la baignoire.

Volume 1 : dimensions de la douche ou de la baignoire sur 2,25 m de hauteur.

Volume 2 : autour de la douche ou de la baignoire, sur 3 m de hauteur et 0,60 m de largeur

Volume 3 : hauteur 2,25 m, contourne le volume 2 sur une largeur de 2,40 m.

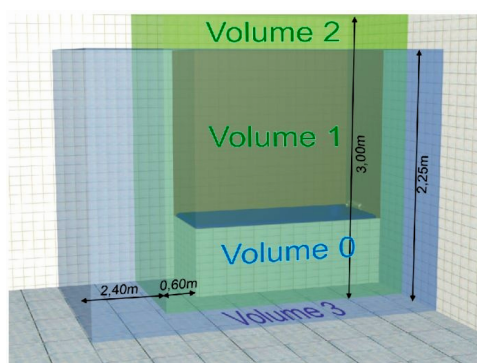


Tableau indiquant les classes d'appareil à utiliser en fonction du volume:

	Matériel	Mesures de protection	Dans les volumes			
			0	1	2	3
interdit						
autorisé						
Appareils d'utilisation	Machine à laver, à sécher...	Classe I + 30 mA				
	Appareils de chauffage	Classe I + 30 mA				
		Classe II + 30 mA				
		Classe I + 30 mA				
		Classe II + 30 mA				
		TBTS 12V				
		Transformateur de séparation				
	Chauffe-eau instantané	Classe I + 30 mA				
Appareillage	Chauffe-eau à accumulation	Classe I (30 mA conseillé)				
	Interrupteur	30 mA				
		TBTS 12 V				
	Prise 2P + T	30 mA				
	Prise rasoir (20 à 50 VA)	Transformateur de séparation				
	Transformateur de séparation	30 mA				
	Canalisations		sauf alimentation directe d'un appareil			
	Boîte de connexion					

Classement des matériels :

Matériel de classe 0 : Matériel possédant uniquement une isolation fonctionnelle mais pas de liaison à la terre des masses métalliques. Interdit en Europe.

Matériel de classe I : Matériel possédant une isolation fonctionnelle et liaison à la terre des masses métalliques.









Matériel de classe II :





Matériel possédant une double isolation des parties actives (isolation fonctionnelle et matérielle). Pas de liaison à la terre des parties métalliques.

Matériel de classe III :

Matériel de classe 2 équipé d'un transformateur TBTS (Très Basse Tension Séparée).

Des symboles figurant sur les appareils électriques permettent d'identifier rapidement leurs domaines d'utilisations et de protections.

Emplacement	Symbole minimum de la protection contre l'eau	
	Appareils électrodomestiques	Luminaires
Extérieur des volumes	Pas de symbole	Pas de symbole
Volume 3		
Volume 2		
Volume 1		
Volume 0		

	protégé contre les chutes verticales de gouttes d'eau (condensation)
	protégé contre les effets d'immersion
	protégé contre la pluie jusqu'à 60 degrés à la verticale
	protégé contre les jets d'eau de toutes directions

VI.8) Consommation des appareils

Tableau de consommation des appareils électro-ménagers

	Type d'appareil	Puissance de l'appareil (en Watt)	Période d'utilisation	Fréquence d'utilisation	Consommation annuelle moyenne
Froid	Frigo combi (250 litres), label A+	DE 150 à 200 W	365 jours	En continu	201 kWh *
	Frigo combi (250 litres), label C	DE 200 à 350 W	365 jours	En continu	500 kWh
	Conditionnement d'air	DE 2600 à 4000 W	60 jours	5h/jour	960 kWh
Loisir	TV tube cathodique en service	DE 80 à 100 W	335 jours	4h/jour	121 kWh
	TV tube cathodique en mode veille	De 4 à 10 W	365 jours	En continu	59 kWh
	TV LCD en service	De 90 à 250 W	335 jours	4h/jour	241 kWh
	TV LCD en mode veille	De 3 W	365 jours	En continu	22 kWh
	TV plasma en service	De 261 à 344 W	335 jours	4h/jour	402 kWh
	TV plasma en mode veille	De 3 W	365 jours	En continu	22 kWh
	Ordinateur avec écran cathodique	De 100 à 120 W	240 jours	4 h/jour	106 kWh
	Ordinateur avec écran cathodique en mode veille	DE 40 à 60 W	365 jours	En continu	400 kWh
	Ordinateur avec écran plat	De 70 à 80 W	240 jours	4 h/jour	72 kWh
	Ordinateur avec écran plat en mode veille	DE 3 W	365 jours	En continu	25 kWh
Entretien du linge	Machine à laver AAA (coton 60°C)	DE 2000 à 2200 W	48 semaines	4 cycles/semaine	0,9 kWh/cycle -> 173 kWh**
	Machine à laver C (coton 60°C)	DE 2500 à 3000 W	48 semaines	4 cycles/semaine	1,35 kWh/cycle -> 259 kWh**
	Sèche-Linge C	DE 2500 à 3000 W	32 semaines	2 fois/semaine	3 kWh/cycle -> 192 kWh
	Fer à repasser	De 750 à 1100 W	48 semaines	5h/semaine	260 kWh
	Machine à coudre	De 70 à 100 W	48 semaines	1h/semaine	4 kWh
Entretien habitat	Aspirateur	De 650 à 800 W	48 semaines	2h/semaine	70 kWh
Toilette	Rasoir électrique	De 8 à 12 W	335 jours	5 min./jour	0,3 kWh
	Sèche cheveux	De 300 à 600 W	48 semaines	30 min./jour	11 kWh
Éclairage	Lampadaire avec lampe économique	De 15 à 25 W	335 jours	5 h/jour	34 kWh
	Ampoules à incandescence : 3 ampoules 3h/jour	De 100 à 200 W	335 jours	3 h/jour	151 kWh
	Lampe halogène sur pied 300 W	300 W	335 jours	5 h/jour	503 kWh
	Aquarium	De 100 à 300 W	365 jours	en continu	876 kWh

Cuisine	Cuisinière (taque classique) à four	De 8000 à 10000W	335 jours	35 min/jour	928 kWh
	Four classique	De 2000 à 2500 W	48 semaines	1.5 h/semaine	162 kWh
	Four micro-ondes	De 1000 à 1500 W	48 semaines	1.5 h/semaine	90 kWh
	Friteuse	De 1500 à 2000 W	48 semaines	1 h/semaine	84 kWh
	Grille-viande	1000 W	48 semaines	10 min./semaine	8 kWh
	cafetière	De 500 à 1000 W	335 jours	10 min./jour	42 kWh
	Gaufrier	De 800 à 1200 W	15 jours	1h/jour	15 kWh
	Grille-pain	De 500 à 1000 W	48 semaines	10 min./semaine	5 kWh
	Mixer/mixe soupe	De 100 à 150 W	48 semaines	10 min./semaine	1 kWh
	Hotte	de 70 à 150 W	335 jours	40 min./jour	25 kWh
	Lave-vaisselle	De 1200 W	48 semaines	5 fois/semaine	288 kWh
Eau chaude	Boiler 100 l (tarif bihoraire)	De 2000 à 2500 W	335 jours	80l/jour	1554 kWh ***
	Boiler 5l, sous évier	2500 W	335 jours	10l/jour	194 kWh
Chauffage	Circulateur chauff. cent. (permanent)	De 40 à 60 W	240 jours	En continu	288 kWh
	Circulateur chauff. cent. (non-permanent)	De 40 à 60 W	240 jours	6h/jour	72 kWh
	Appoint électrique	De 1000 à 2000 W	240 jours	30 min/jour	180 kWh
Divers	Radio-réveil	De 3 à 6 W	365 jours	En continu	20 kWh
	Tondeuse électrique	De 1000 à 1500 W	32 semaines	1h/semaine	40 kWh

VII) Eclairage

On appelle **éclairagisme** l'ensemble des connaissances concernant les applications de la lumière.

VII.1) Notion d'éclairage

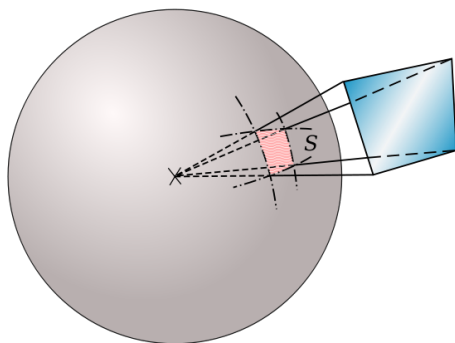
Angle solide

Soit un cône quelconque de sommet O . Pour caractériser la partie de l'espace délimitée par ce cône, on envisage une calotte sphérique de rayon R et d'aire $S(R)$ délimitée par le cône. Par raison d'homothétie, le rapport $S(R)/R^2$ est indépendant de R et mesure la valeur de l'angle solide Ω défini par le cône :

$$\Omega = \frac{S(R)}{R^2}$$

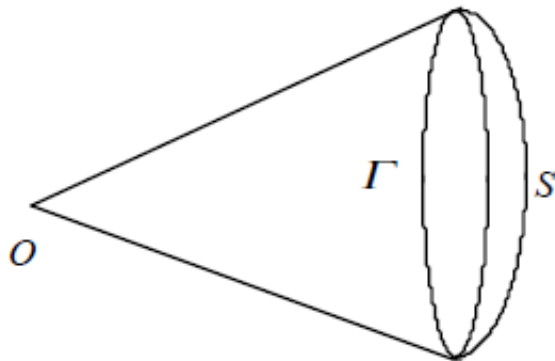
L'unité d'angle solide est le stéradian (symbole sr).

L'angle solide est le rapport entre la surface (en rose) de la projection d'un objet sur une sphère et le carré du rayon de celle-ci. Ici, l'objet dont est mesuré l'angle solide est une surface quadrilatère (en bleu).



Angle solide sous lequel on voit de O une surface S

C'est l'angle solide défini par le cône s'appuyant sur la surface S. Cet angle ne dépend pas de la surface S, mais uniquement du contour Γ sur lequel il s'appuie.



Par analogie avec l'angle plan, on a :

$$d\Omega = \frac{dS \cdot \cos \alpha}{r^2} \quad \text{avec } r = OM$$

III.2) Autres notions liées à l'éclairement

Si on note P la puissance reçue par la source, le plus souvent sous forme électrique, et F le flux lumineux émis, alors le rendement lumineux (en lm/W) vaut : $\eta = F/P$

L'intensité lumineuse est le flux élémentaire émis dans une direction de l'espace par une source quasi ponctuelle.

$$I = \frac{dF}{d\Omega}$$

avec dF : flux élémentaire issu de la source quasi ponctuelle dans l'angle solide élémentaire dΩ (cône élémentaire). Unité : la candéla (cd),

L'éclairement est la densité de lumière sur une surface.

$$E = F/S$$

avec F : valeur du flux lumineux atteignant la surface, S : aire de la surface

Unité : lux (lx) ; 1 lx = flux de 1 lm atteignant une surface de 1m².

La luminance au point P est le flux transmis par un faisceau élémentaire passant par le point P et se propageant dans sa direction dans l'angle solide dΩ.

$$L = \frac{dF}{dS \cdot \cos \theta \cdot d\Omega}$$

Unité : cd.m⁻²

dS : aire de la section du faisceau en ce point.

θ : angle entre la normale à cette section et la direction du faisceau.

VII.2) Critères dans un projet d'éclairage

Il y a plusieurs objectifs relatifs à l'éclairage :

- permettre une bonne vision
- éviter la fatigue visuelle et les affections de la vue qui en résultent
- permettre de déceler les risques perceptibles à la vue
- permettre l'exécution d'une tâche avec un maximum de chance de succès tout en assurant le bien-être des usagers
- créer une ambiance particulière

Le projet d'éclairage sera adapté aux différents locaux selon leur usage (on ne prévoira pas le même éclairage dans une chambre que dans un bureau). On privilégiera quand cela est possible l'éclairage naturel (qualité d'éclairage, économie d'énergie...).

VII.3) Niveau d'éclairement exigé

La loi fixe des niveaux d'éclairement minimum dans les locaux de travail (décret n° 83-721). Pas de loi pour les immeubles d'habitation, mais cela reste un paramètre important pour le confort. Pour les lieux de travail : notion d'éclairement moyen initial (EMI) lors de la mise en service.

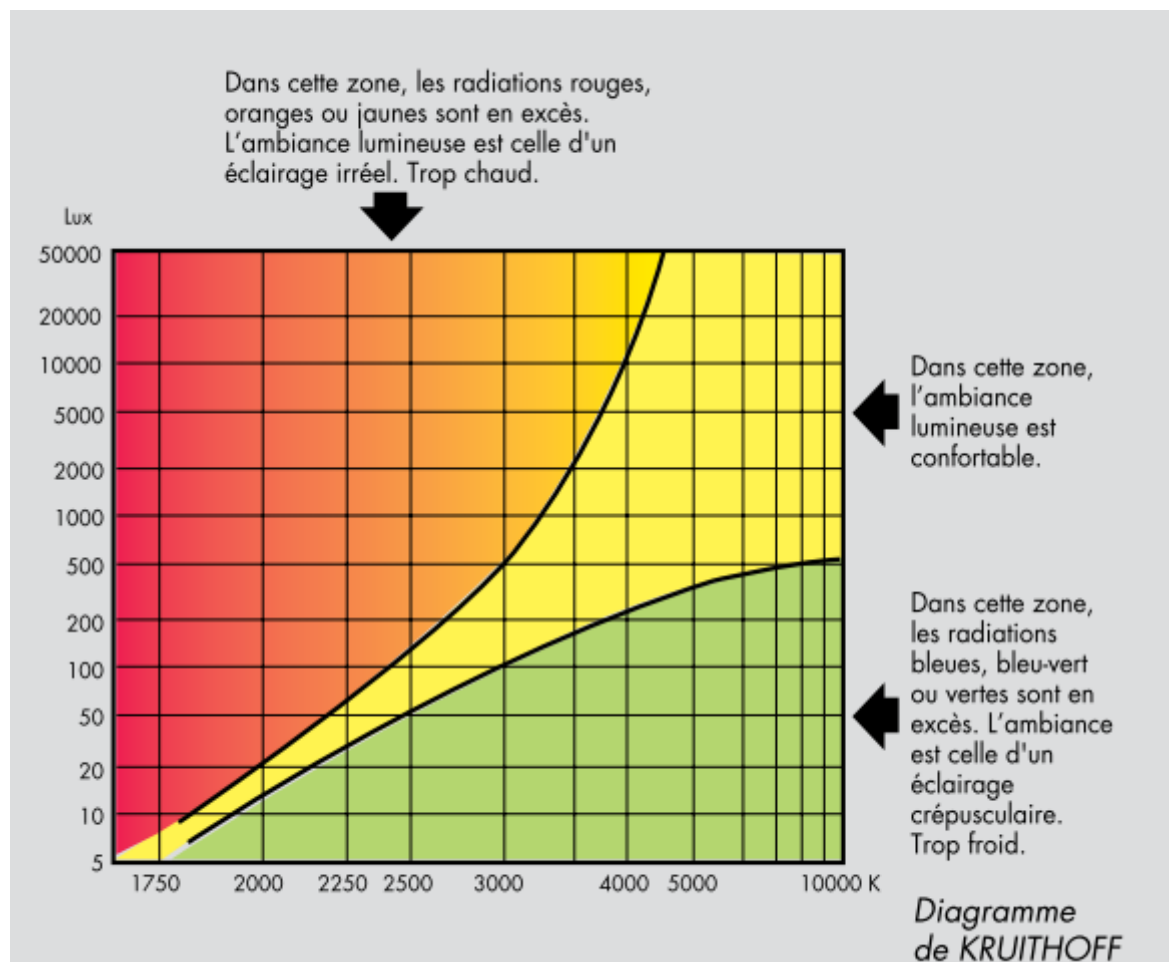
Type de travail	Décret	E.M.I
Les voies de circulation intérieure	40 Lux	70 Lux
Les escaliers et entrepôts	60 Lux	110 Lux
Les locaux de travail, vestiaires et sanitaires	120 Lux	210 Lux
Les locaux aveugles affectés à un travail permanent	200 Lux	350 Lux
Les zones et voies de circulation extérieure	10 Lux	20 Lux
Les espaces extérieurs où sont effectués des travaux à caractère permanent	40 Lux	70 Lux

Ces valeurs seront modulées selon le type de travail :

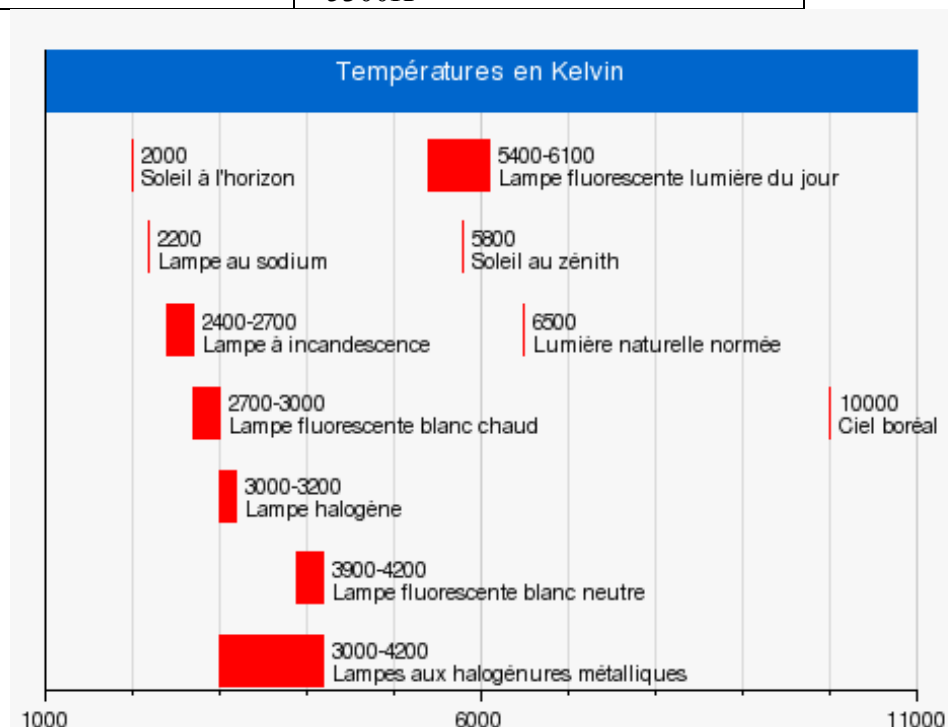
- Travaux grossier : $E < 100$ lux
- Travaux courants : $300 < E < 500$ lux
- Travaux délicats : $500 < E < 1000$ lux
- Travaux très délicats : $E > 1000$ lux

VII.3) Aspect des couleurs

La température de couleur s'exprime en Kelvin. Elle caractérise la répartition énergétique du rayonnement au sein des différentes longueurs d'onde constituant le spectre d'émission de la source lumineuse. La température de couleur fait appel à la notion de corps noir.



Apparence colorée	Température de couleur proximale
	< 3300K
	3300K à 5300K
	>5300K



Indice de rendu des couleurs : quantifie la capacité d'une source lumineuse à restituer 8 couleurs normalisées sans en altérer les teintes. Il s'exprime en Ra [0,100].
100 : rendu "naturel" des couleurs des objets

Exemples :

- Lampes à incandescence (de 90 à 100)
- Tubes fluo (de 40 à 100 selon la gamme)
- Lampes à vapeur de sodium basse pression (<20)

Il est recommandé de ne pas utiliser des lampes d'indice de rendu des couleurs inférieur à 80 dans les intérieurs où les gens travaillent.

VII.4) Uniformité de l'éclairage

Un autre facteur intervenant dans le confort visuel est l'uniformité d'éclairage: le nombre, la répartition et le choix des luminaires doivent assurer une uniformité de l'éclairement. Le décret de 1983 fixe une limite pour le rapport des niveaux d'éclairement général et de la zone de travail, ainsi qu'entre les locaux contigus. Ce rapport doit être compris entre 1 et 5 maximum.

Exemple : dans un local où l'éclairement des postes de travail est de 1000 Lux, l'éclairement moyen général ne doit pas être inférieur à 200 Lux.

Mais : possible de garder des déséquilibres des niveaux lumineux pour dynamiser le lieu ou mettre en avant des éléments architecturaux...

VII.5) Eblouissement

L'éblouissement correspond à l'ensemble des conditions dans lesquelles on éprouve une gêne ou une réduction de l'aptitude à distinguer de petits objets. Cette sensation est produite par des surfaces brillantes dans le champ visuel.

Il y a deux types d'éblouissements :

- L'éblouissement direct par les sources lumineuses
 - si la luminance est élevée (ex. : spot basse tension)
 - s'il n'y a pas de grille sur le luminaire (tube fluo à nu)
 - si les dimensions sont grandes
 - si le fond sur lequel il se détache est plus sombre.
- L'éblouissement indirect : La réflexion des sources de lumière par des surfaces brillantes amoindrit la perception visuelle et peut être une cause importante d'inconfort et de fatigue visuelle. Les surfaces mates limitent ce risque.

On appelle UGR, l'éblouissement d'inconfort provenant directement des luminaires d'une installation d'éclairage intérieur. Il est évalué en utilisant la méthode tabulaire d'évaluation du taux d'éblouissement unifié. Il est basé sur la formule :

$$UGR = 8 \log \left(\frac{0.25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{P^2} \right)$$

avec L_b : luminance de fond (cd.m^{-2}), L : luminance des parties lumineuses de chaque luminaire dans la direction de l'œil de l'observateur en cd.m^{-2} , ω : angle solide (stéradian) des

parties lumineuses de chaque luminaire au niveau de l'œil de l'observateur, p : indice de position de Guth pour chaque luminaire se rapportant à la position du luminaire par rapport à l'axe visuel.

L'UGR varie, en pratique, entre 10 (éblouissement imperceptible) et 30 (éblouissement intolérable). Un pas d'UGR de 1 est la plus petite différence détectable.

VII.6) Efficacité

Le rendement, appelé efficacité lumineuse, est une caractéristique majeure (contexte de développement durable). Il y a deux types de rendement :

- Efficacité énergétique (%) : énergie émise par la source par rapport à ce qu'elle consomme. Les deux énergies sont exprimées en Watt.
- L'efficacité lumineuse (lm/W) : quantifie ce que l'œil voit (lumen) sur ce que la source lumineuse consomme (Watt).

Il faut se situer à niveau égal lorsque l'on compare plusieurs sources. . En effet on ne peut pas comparer l'efficacité d'une ampoule à celle d'un luminaire; selon l'optique et l'utilisation, l'efficacité effective peut varier fortement. Par exemple un luminaire en forme de boule (présent dans de nombreuses résidences collectives) possède une efficacité lumineuse faible du fait que le flux utile représente une petite part du flux émis puisque plus de la moitié de la lumière est émise vers le ciel.

VII.7) Éclairage directionnel

Il ne faut pas que l'éclairage soit trop directionnel (ombres très contrastées) ni trop diffus (perte de contraste). Cela peut induire des gênes visuelles.

VII.8) Facteur de maintenance

C'est un aspect primordial de l'éclairagisme. Il faut pouvoir maintenir les performances requises des locaux. Dans les projets d'éclairagisme, il faut donc aussi prévoir le programme d'entretien permettant de conserver la valeur d'éclairement minimum pour conserver le confort et la performance visuelle pour la tâche concernée. Cela dépendra de la durée de vie des luminaires utilisés.

VIII) Ventilation

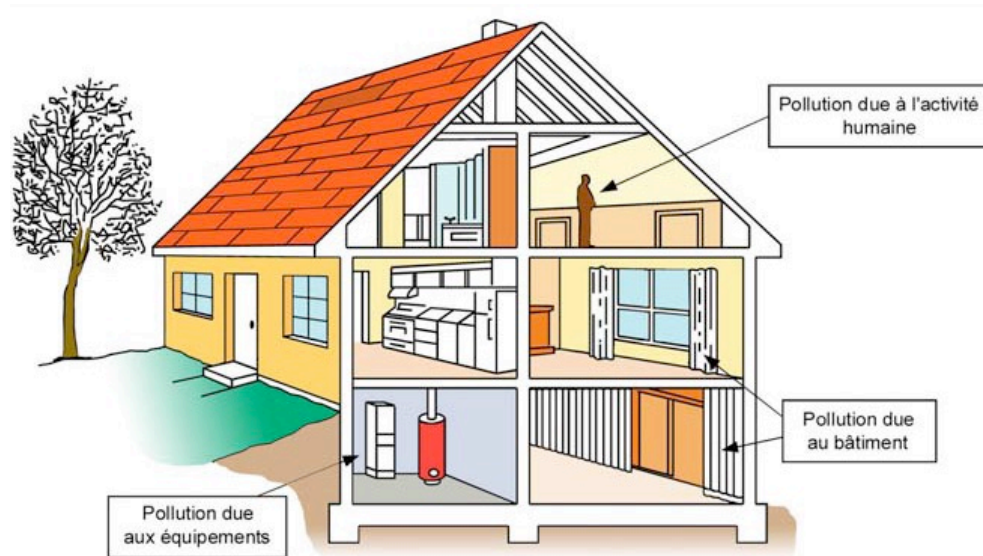
VIII.1) Objectif

La ventilation a un double rôle :

- Contribuer à l'hygiène de vie des occupants
- Préserver le bâti

La ventilation d'un lieu a plusieurs justifications :

- Renouveler l'air ambiant, l'assainir, le dépoussiérer.
- Assurer la climatisation (chauffage ou refroidissement) du local.
- Réguler le taux d'hygrométrie (humidité).
- Gérer la pression atmosphérique d'un lieu clos (en surpression ou en dépression).
- Contrôle de la concentration du CO₂ et des divers polluants.



VIII.2) Type de ventilation

Il existe différents types de ventilation :

- Ventilation naturelle
- Ventilation hybride
- Ventilation mécanique contrôlée simple flux
- Ventilation mécanique contrôlée double flux
- Ventilation mécanique répartie

VIII.2.1) Ventilation naturelle

On la trouve dans la plupart des constructions traditionnelles et immeubles d'habitation.

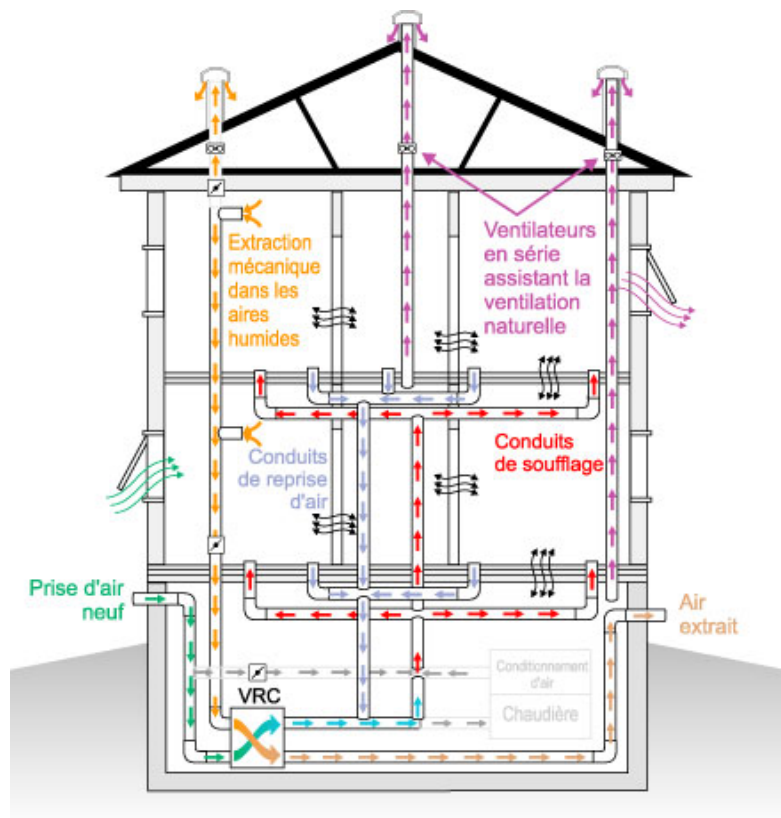
- Par ouvrants extérieurs (menuiserie...)
- Par des conduits à tirage naturel

La ventilation à tirage naturel repose sur la différence de température (plus chaude dans le conduit, plus froide à l'extérieur).

- Bon fonctionnement en hiver.
- Problème l'été ou au printemps.

VIII.2.2) Ventilation hybride

Elle combine les avantages de la ventilation naturelle et de la ventilation mécanique. Le système est piloté suivant les conditions climatiques et bascule automatiquement entre le mode naturel et le mode assistance mécanique. Il permet de profiter au maximum des forces motrices naturelles pour réduire les consommations électriques.

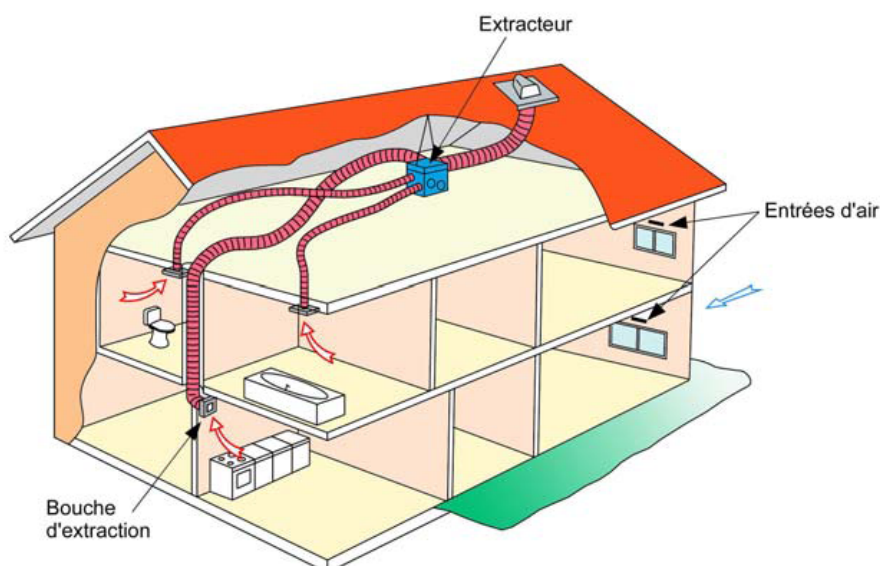


VIII.2.3) Ventilation mécanique contrôlée (VMC) simple flux

La VMC est un dispositif motorisé permettant le renouvellement de l'air à l'intérieur des pièces d'une maison.

La VMC simple flux fonctionne en continu :

- L'air extérieur pénètre par des entrées d'air placées dans les pièces de vie (chambres, séjour) généralement au niveau des fenêtres.
- Puis il est rejeté dans des bouches d'extraction placées dans les pièces humides (toilettes, cuisine, salle de bain).
- Ces bouches d'extraction sont reliées à un petit moteur.



Il y a deux types de VMC simple flux :

- Autoréglable : le débit d'air est le même quelles que soient les conditions climatiques et le nombre de personnes présentes dans le logement.
- Hygroréglable : le débit d'air varie en fonction du taux d'humidité à l'intérieur du logement.

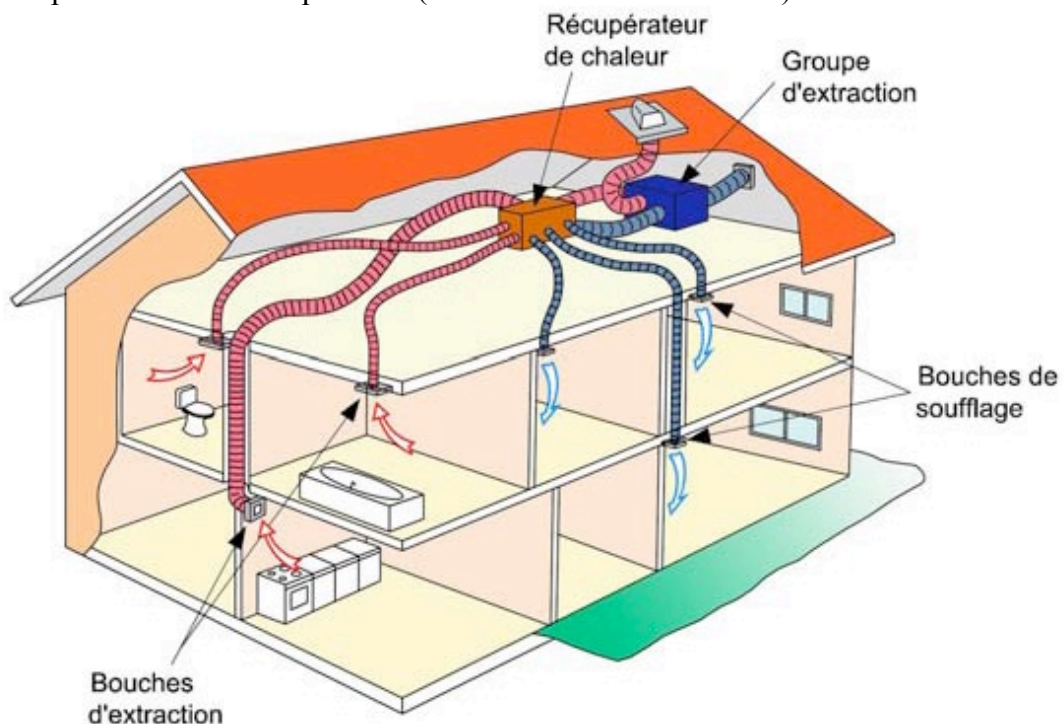
VMC hygroréglable :

- type A : Les entrées d'air sont de type autoréglables. Les bouches d'extraction sont hygroréglables
- type B : Les entrées d'air et les bouches d'extraction sont hygroréglables.

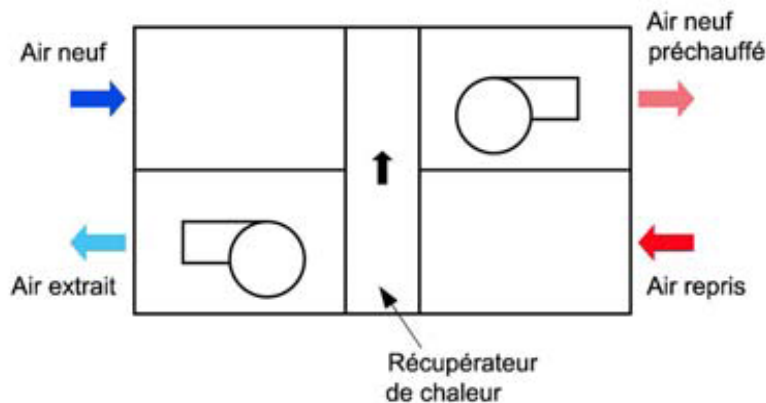
Les VMC sont utilisées dans les habitats individuels et collectifs récents et dans les bâtiments du secteur tertiaire

VIII.2.4) Ventilation mécanique contrôlée double flux

Une VMC double flux est une ventilation permettant d'insuffler de l'air frais dans les pièces sèches (salon, chambres...) et de l'extraire dans les pièces humides (cuisine, salle de bain...) de la maison, formant ainsi un circuit. Contrairement aux VMC simple-flux, les double-flux ne mettent pas la maison en dépression (débit entrant = débit sortant).



La VMC double flux est souvent équipée d'un échangeur thermique qui récupère la chaleur intérieure. Cela permet de préchauffer l'air qui arrive de l'extérieur. L'air neuf réchauffé est envoyé dans les pièces de vie par des bouches d'insufflation.



Avantages et inconvénients :

VMC simple flux :

- maison en dépression : il est dangereux d'utiliser un chauffe-eau au gaz ou un poêle qui n'est pas raccordé à une prise d'air et un refolement extérieurs.
- L'air qui rentre dans le bâtiment est de l'air froid en hiver, non préchauffé par l'air sortant, de plus il ne peut être que peu filtré.

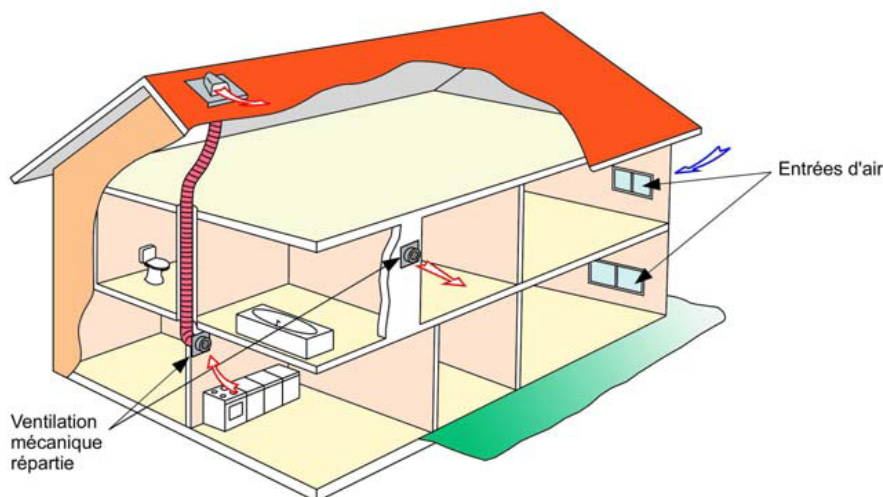
VMC double flux :

- Solution plus chère, mais parfois plus économique à long terme
- Moins de problème en cas d'utilisation d'un poêle ou d'un chauffe-eau au gaz
- Nécessité de rendre le bâtiment étanche à l'air.
- Filtration de l'air entrant permettant une meilleure hygiène
- Deux moteurs consomment plus d'électricité

VIII.2.5) Ventilation mécanique répartie (VMR)

La VMR permet de s'affranchir du passage des conduits (intéressant dans le cadre de travaux de rénovation).

Principe : chaque pièce de service est équipée d'un petit extracteur, appelé aérateur. Installé dans le volume à chauffer, l'aérateur est équipé d'un ventilateur qui met en dépression la pièce où il est installé et rejette l'air à l'extérieur. Le rejet s'effectue soit par une traversée de paroi, soit par un conduit débouchant en toiture ou en façade.



VIII.3) Entrée d'air

Il existe 5 types d'aérateur :

- **Type A - aérateur de paroi** : Installé sur une paroi donnant sur l'extérieur ; il est constitué de l'élément mécanique, d'un conduit de traversée (de quelques dizaines de cm) et de deux éléments d'habillage.
- **Type B - aérateur à entrée libre** : L'entrée de l'air est directe, comme pour le type A, mais le refoulement s'effectue par un conduit long.
- **Type C - aérateur à sortie libre** : L'entrée se fait par un conduit long alors que le refoulement à l'air libre est identique à celui du type A.
- **Type D - aérateur à double conduit** : L'entrée et le refoulement de l'air se font chacun par un conduit long.
- **Type E - aérateur à entrées multiples** : Appelé également VMC individualisée, ce type d'aérateur extrait l'air usé non seulement de la pièce où il est implanté, mais également d'un autre local humide par l'intermédiaire d'un piquage et d'un conduit. Le refoulement vers l'extérieur peut se faire directement par traversée de parois ou par conduits longs débouchant en toiture.

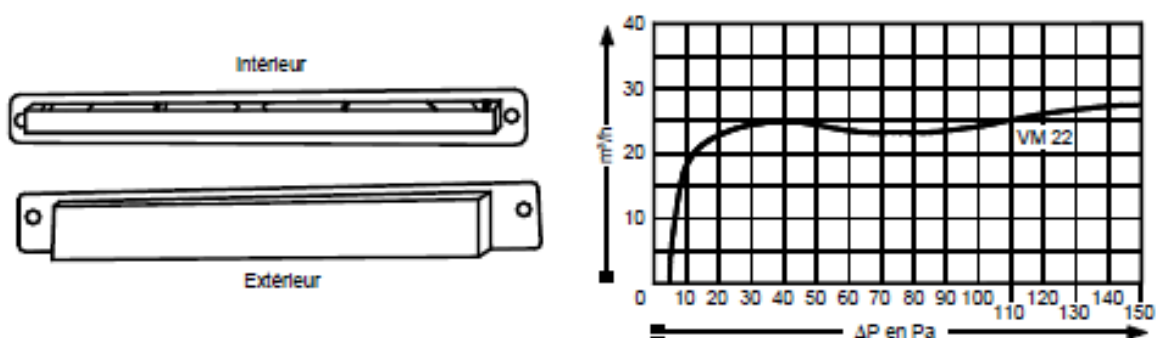
Entrées d'air :

- Disposées dans les pièces principales en menuiserie, en coffre de volet roulant ou en traversée de mur.
- Localisées en partie haute du local, à une hauteur d'au moins 1,80 m afin d'éviter les courants d'air gênants.
- Nécessite le percement de fentes dans les parois.

Entrées d'air autoréglable : Leur section de passage à l'air est modulée automatiquement en fonction de la différence de pression entre intérieur et extérieur.

Elles sont généralement disponibles en 4 modules :

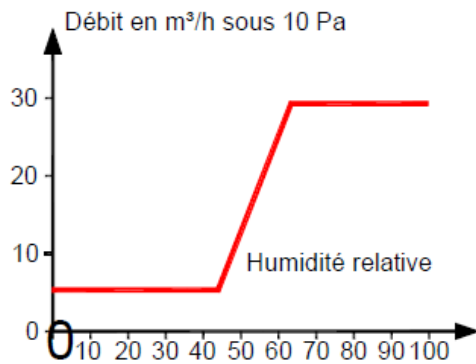
- module 15 (15 m³/h sous 20 Pa)
- module 22
- module 30
- module 45.



Entrées d'air hygroréglable : leur section de passage est modulée automatiquement en fonction de l'humidité dans le local.

Moyen : volet de réglage couplé à une tresse en nylon sensible à l'hygrométrie.

Les entrées d'air hygroréglables sont caractérisées par une plage de débit (5-30 m³/h par ex.) sous une dépression de référence égale à 10 Pa.



VIII.4) Sortie d'air

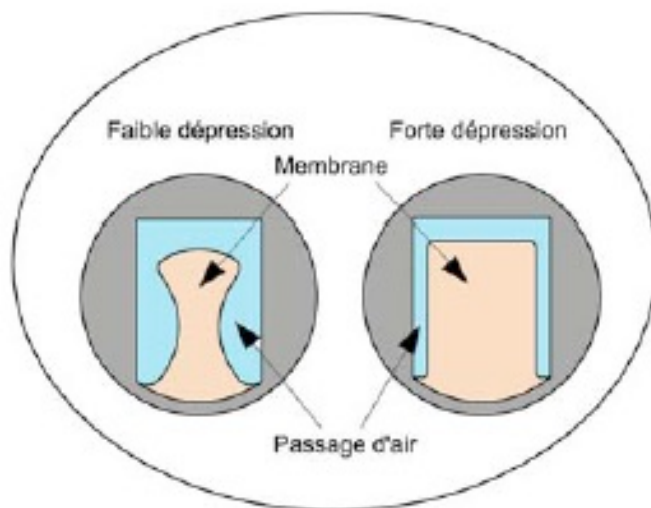
Bouches d'extraction : Les bouches d'extraction présentent d'origine un marquage spécifiant leur débit nominal et leur plage de fonctionnement.

3 types de bouche d'extraction :

- Bouches fixes
- Bouche autoréglable
- Bouche hydroréglable

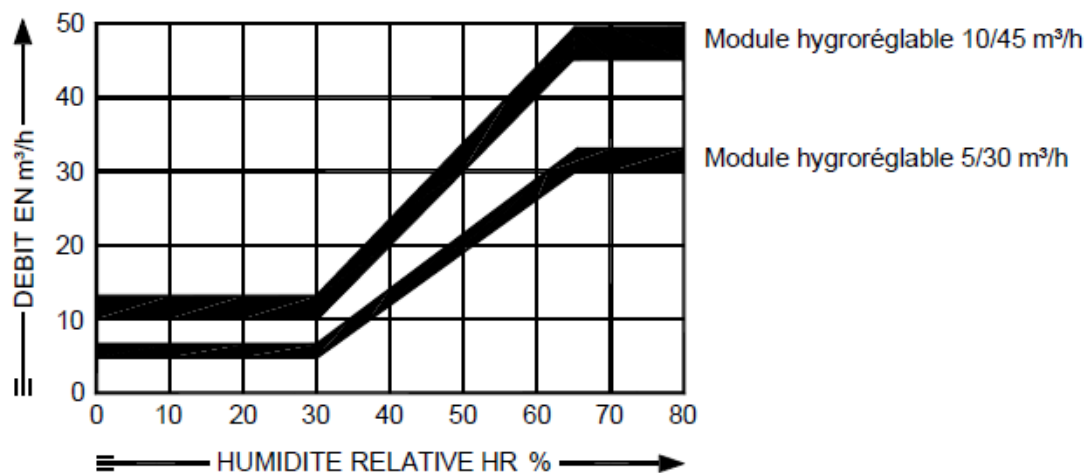
Bouche fixe : Elles ont pour seul objectif de laisser passer l'air vicié.

Bouche autoréglable : Elles sont surtout utilisées en habitat collectif. La section de passage de l'air est modulée automatiquement pour maintenir un débit d'air constant. Ces bouches sont équipées d'une membrane, placée dans le passage de l'air, qui réagit en fonction de la dépression (50-150 Pa) générée par l'extracteur.



Bouche hydroréglable : Section de passage de l'air est modulée automatiquement pour faire varier le débit d'air extrait en fonction de l'humidité de la pièce.

Ces bouches sont équipées en général d'une tresse sensible à l'humidité.



VIII.4) Conduit

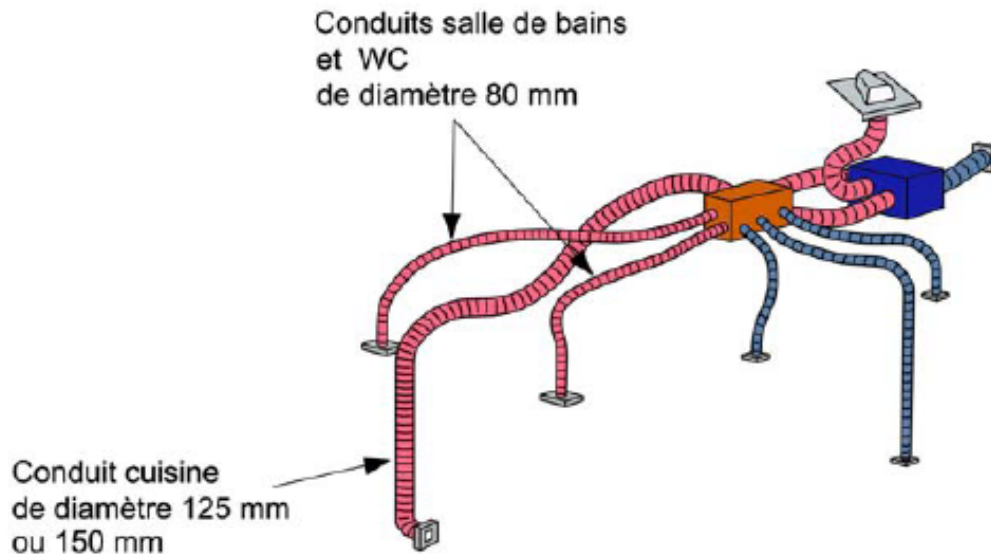
Conduit le plus utilisé en habitat individuel : conduit circulaire souple ou flexible en PVC. Ce conduit existe également avec isolation thermique en laine de verre d'épaisseur.

On peut trouver aussi des conduits :

- acier galvanisé
- aluminium
- rigide
- souple

Les éléments qui vont permettre de choisir le conduit sont :

- perte de charge
- facilité d'installation
- multiplication des raccords, coudes, tés... si rigide
- étanchéité des raccords et facilité à la mettre en œuvre
- coût
- nettoyage/entretien
- bruit provenant du moteur VMC (transmission)
- bruit du passage de l'air dans la gaine (à rapport vitesse/diamètre/débit égal)
- durabilité
- toxicité
- ...



VIII.5) Réglementation

VIII.5.1) Installation

La réglementation impose :

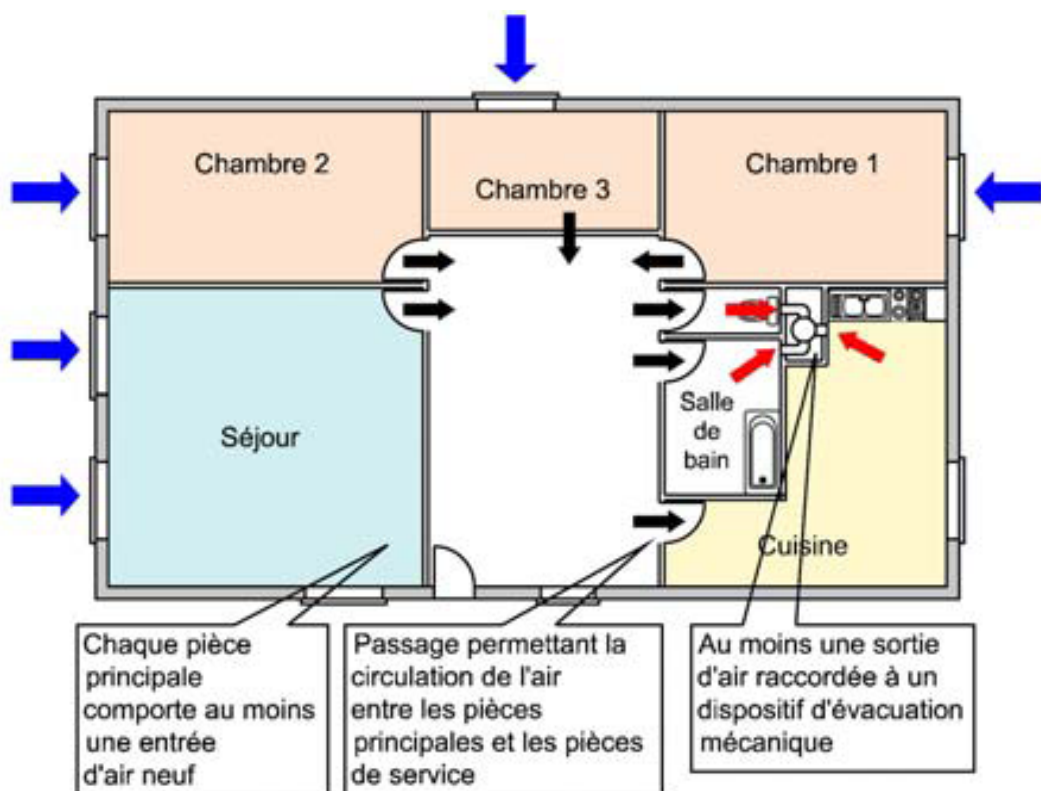
- Une ventilation permanente des logements
- L'extraction pour les pièces de service
- L'introduction d'air frais dans les pièces principales

La ventilation dans l'habitat est réglementée par l'arrêté du 24 mars 1982 modifié par l'arrêté du 28 octobre 1983. Pour les logements construits après 1982, l'Article R.111-9 du Code de la Construction et de l'Habitation précise que :

« les logements doivent bénéficier d'un renouvellement de l'air et d'une évacuation des émanations tels que les taux de pollution de l'air intérieur du local ne constituent aucun danger pour la santé et que puissent être évitées les condensations ».

L'arrêté stipule :

- L'aération doit être générale et permanente dans l'ensemble du logement au moins pendant la période où la température extérieure oblige à maintenir les fenêtres fermées.
- Le système de ventilation doit comporter des entrées d'air dans les pièces principales et des sorties d'air dans les pièces de service.
- L'air doit pouvoir circuler librement des pièces principales vers les pièces de service



VIII.5.2) Exigence de débit

Nombre de pièces principales du logement	Débits extraits exprimés en m ³ /h					
	Débit mini pour l'ensemble du logement	Cuisine (*)	Salle de bains ou de douches (**)	Autre salle d'eau	WC	
					Unique	Multiple
1	35	20/75	15	15	15	15
2	60	30/90	15	15	15	15
3	75	45/105	30	15	15	15
4	90	45/120	30	15	30	15
5	105	45/135	30	15	30	15
6	120	45/135	30	15	30	15
7	135	45/165	30	15	30	15

(*) débit minimal / débit nominal

(**) commune ou non avec un cabinet d'aisances

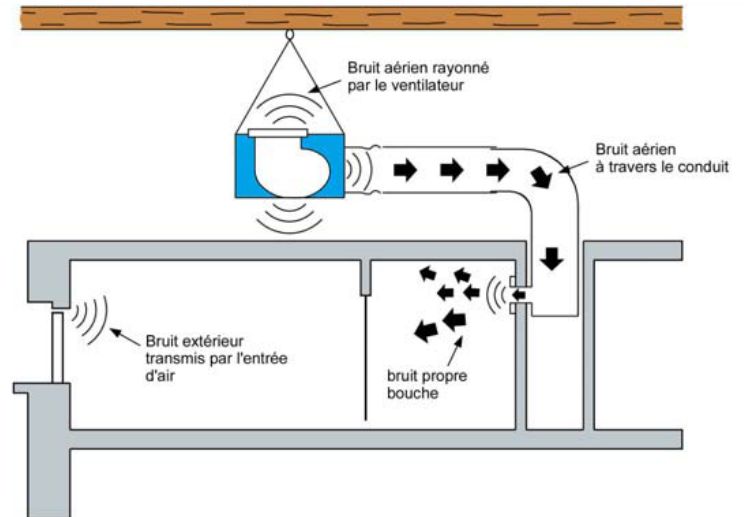
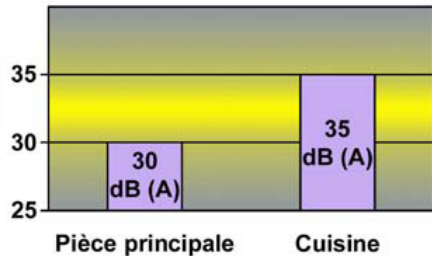
Dans le cas d'une ventilation mécanique de type hygroréglable, les valeurs de débit total minimal extrait peuvent être limitées aux valeurs suivantes :

	Nombre de pièces principales						
	1	2	3	4	5	6	7
Débit total minimal (m ³ /h)	10	10	15	20	25	30	35

VIII.5.3) Acoustique

L'arrêté du 30 juin 1999 indique les valeurs de niveau de pression acoustique à ne pas dépasser pour les bruits engendrés par les équipements dans les bâtiments neufs d'habitation. Pour les installations de ventilation :

Niveau de pression acoustique normalisé :



Ces valeurs correspondent au bruit de l'ensemble de l'installation y compris les bouches d'extraction en position débit minimal.

VIII.5.4) Thermique

La réglementation thermique impose d'isoler les conduits en comble non chauffé pour un système double flux. L'isolant est disposé après le dispositif de récupération de chaleur (réseau de soufflage).

VIII.5.5) Projet d'aéraulique

Pour un projet aéraulique, on considère que l'air se conduit comme un gaz parfait :

$$p.V = n.R.T$$

Avec :

p : pression

V : Volume

T : Température

n : quantité de matière (mole)

R : constante des gaz parfaites ($R=8,3144621 \text{ J/K.mol}$)

Théorème de Bernouilli :

$$\frac{v^2}{2} + g.z + \frac{p}{\rho} = \text{constante}$$

Avec : g : accélération de la pesanteur

v : vitesse du fluide

z : altitude

ρ : masse volumique

Dans le cadre de l'aéraulique, on ramènera cette relation entre deux points à :

$$\rho \left(\frac{v_A^2}{2} + g.z_A + \frac{p_A}{\rho} \right) + \Delta p_{AB} = \rho \left(\frac{v_B^2}{2} + g.z_B + \frac{p_B}{\rho} \right)$$

Avec $\rho = \frac{p}{R.T}$

Δp_{AB} : perte de pression entre A et B due aux frottements

Méthode de dimensionnement d'un réseau de ventilation :

- Méthode de la réduction des vitesses
- Méthode des gains de pression statique
- Méthode des j constants (la plus utilisée)

$$j = \Delta p_{AB}/L$$

Principe de la méthode du j constant :

- On dimensionne le tronçon principal (Q , V_{max})
- On calcule j dans le conduit principal
- On dimensionne chaque tronçon en conservant le même j

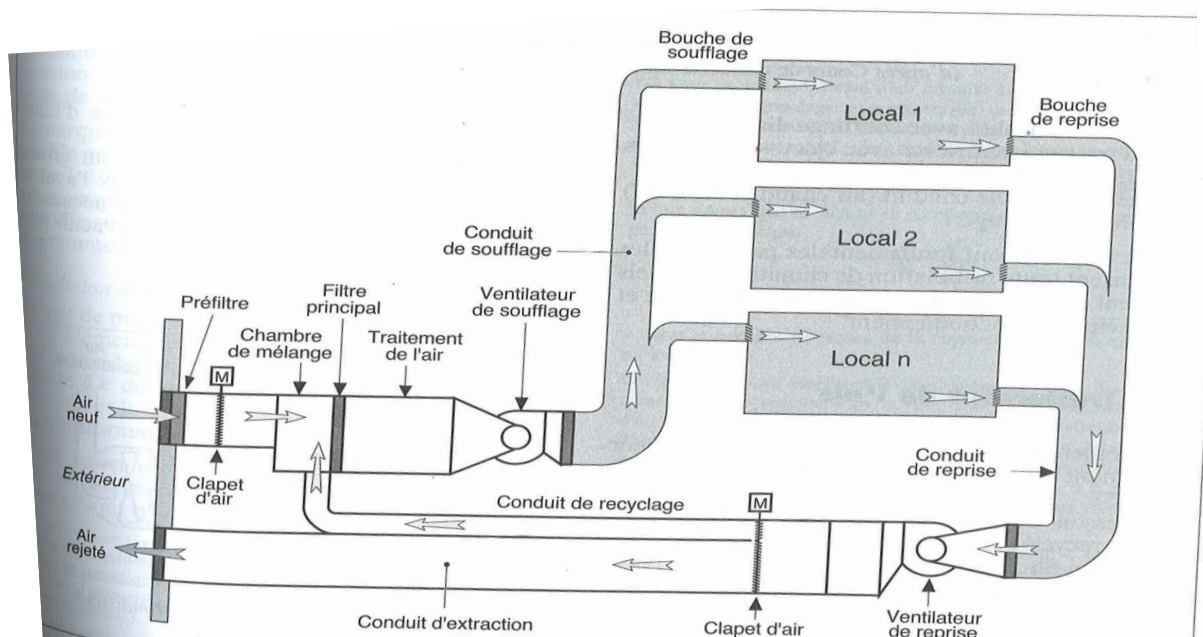
IX) Climatisation

IX.1) Introduction

L'objectif de la climatisation est de maîtriser par une distribution d'air approprié :

- La température résultante du local
- L'humidité de l'air
- La ventilation du local
- La qualité de l'air dans le local

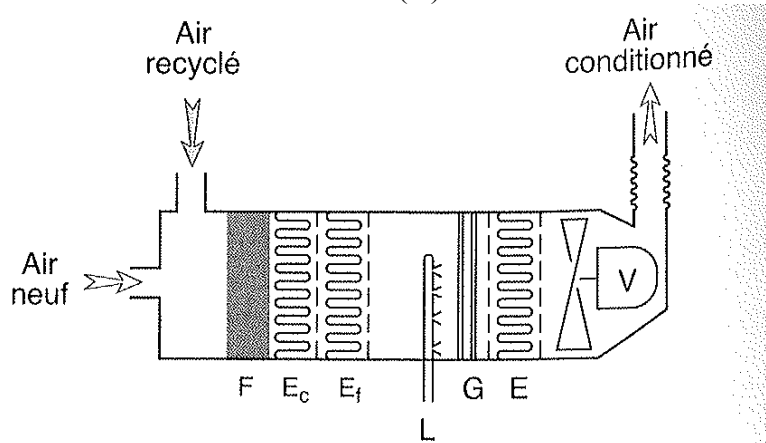
Les locaux à conditionnés sont reliés à la centrale de traitement d'air (CTA) par des réseaux de distribution, reprise et d'extraction. Des ventilateurs permettent de mettre l'air en mouvement. On parle de **climatisation** quand la température de l'air de la pièce est maintenue dans des limites données. On parle de **rafraîchissement** quand l'air subit un refroidissement modéré, non contrôlé. Un système de climatisation est **réversible** s'il peut assurer aussi une fonction de chauffage.



IX.2) Traitement de l'air

Le traitement de l'air se fait dans le climatiseur. Il comporte :

- Caisson de mélange avec 2 entrées d'air (neuf et recyclé)
- Caisson filtre principal F destiné à retenir les poussières
- Caissons batteries avec 2 échangeurs E_c et E_f , où circulent un fluide chauffant et un fluide refroidissant.
- Caisson d'humidification constituée par un humidificateur F
- Caisson motoventilateur (V)



IX.3) Types d'installation

On trouve différents types d'installation, on peut citer :

- les centrales unizones
- les centrales multizones
- les systèmes autonomes

Parmi les systèmes autonomes, on trouve :

- Climatiseur monobloc
- Climatiseur split

IX.3.1) Climatiseur monobloc

Ils sont constitués d'un seul bloc regroupant toutes les fonctions liées à la climatisation. Ils ne nécessitent pas d'unité extérieure mais doivent obligatoirement être en contact avec l'air extérieur pour fonctionner. Ce sont des climatiseurs de puissance réduite qui sont principalement utilisés pour les pièces de volume réduit de 10 à 30 m².



IX.3.2) Climatiseur Split

Ils sont constitués de deux ou plusieurs éléments reliés entre eux grâce à un système de tuyauterie. Le compresseur est installé à l'extérieur tandis que l'évaporateur se trouve à l'intérieur. Performances meilleures que les monoblocs, rendant possible de climatiser plusieurs pièces à la fois.



IX.4) Projet de climatisation

L'un des points importants est le dimensionnement de la centrale de traitement d'air. L'objectif est d'assurer un bon niveau de confort, donc de gérer la température, l'humidité et la qualité de l'air. Mais il y a des contraintes à respecter :

- Acoustique
- Mouvement d'air (place des bouches de soufflage)
- Consommation énergétique
- Régulation

Le dimensionnement passe par une analyse des charges que devra supporter la centrale. Il y a deux types de charge :

- Charges **sensibles**
- Charges **latentes**

IX.4.1) Charges sensibles et latentes

Les charges sensibles venant de l'extérieur sont :

- Positive en été : ensoleillement
- Négative en hiver : déperdition thermique

Les charges sensibles venant de l'intérieur sont :

- machines à l'intérieur du local
- éclairage
- tuyauteries
- occupants

Ce sont les apports de chaleur latente dus à la différence de quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air extérieur et intérieur. Elles viennent essentiellement :

- des locaux (comme les piscines par exemple)
- du matériel à l'intérieur des locaux
- des occupants

IX.4.2) Conditions de soufflage

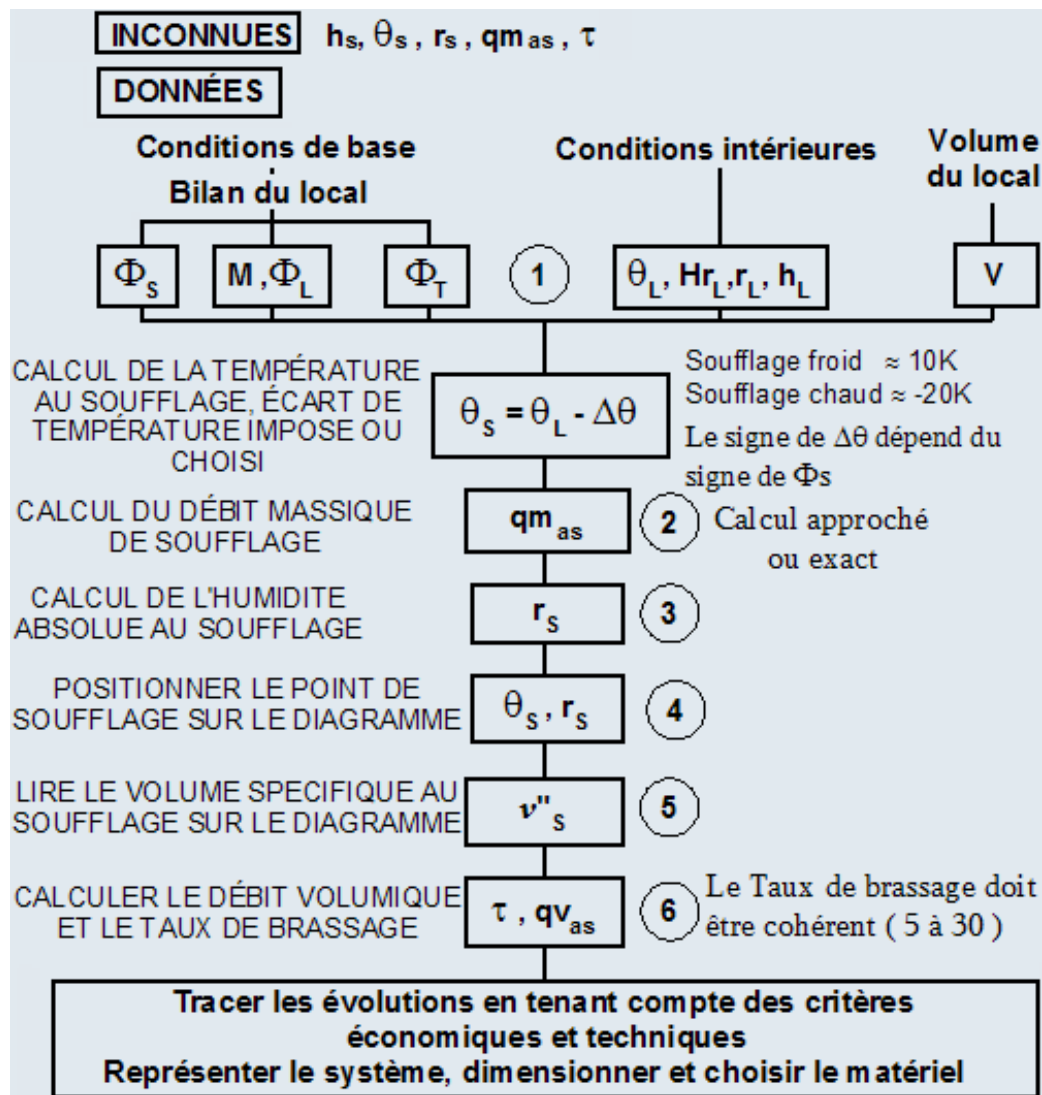
Pour déterminer les conditions de soufflage de l'air dans un local, il faut connaître :

- le débit massique d'air sec au soufflage (q_{mas} [kgas/s])
- le taux de brassage τ ,
- l'écart de température $\Delta\theta$ entre le soufflage et le local,
- le point de soufflage

Cela permettra de dimensionner les éléments de l'installation :

- le débit massique permettra de calculer les puissances des batteries et le débit d'eau piégé par celle-ci, le débit d'eau à injecter (humidificateur vapeur),
- l'enthalpie, la température sèche et l'humidité absolue permettront de placer le point sur le diagramme.

IX.4.3) Démarche de calcul



IX.4.3.1) Charges sensibles

On note Q_{es} la somme des charges sensibles extérieures (hiver $Q_{es} > 0$; été : $Q_{es} < 0$). On note Q_{is} la somme des charges sensibles intérieures

$$Q_s = Q_{es} + Q_{is} = Q_{str} + Q_{SRm} + Q_{SRv} + Q_{Sr} + Q_{Soc} + Q_{Sécl.} + Q_{Séquip}$$

Avec :

Q_{str} : conduction parois

Q_{SRm} : rayonnement par mur

Q_{SRv} : rayonnement par vitrage

Q_{soc} : occupants

Q_{Sr} : renouvellement d'air

$Q_{Sécl.}$: éclairage

$Q_{Séquip}$: équipement

IX.4.3.2) Charges latentes

On a pour les charges latentes (Q_L en W) :

$$Q_L = M \times L_v$$

Avec :

m_e = masse d'eau dégagée par heure (kg/h)

h_v = chaleur latente de vaporisation de l'eau (kJ/kg)

Charges latentes totales

$$Q_L = Q_{Lr} + Q_{Loc} + Q_{léquip}$$

Q_{Lr} : renouvellement d'air

$Q_{léquip}$: équipement

Q_{Loc} : occupants

IX.4.3.3) Charges totale

Le bilan thermique total (QT) est la somme de toutes les charges externes et internes. Il est plus pratique de faire la somme des charges sensibles (QS) et latentes (QL). D'où :

$$Q_T = Q_S + Q_L$$

IX.4.3.4) Bilan enthalpique

On suppose que le débit massique d'air sec soufflé est égal au débit massique d'air repris :

$$q_{air\ soufflé} = q_{air\ repris}$$

La puissance apportée au local est la somme de la puissance apportée par l'air dans le local, c'est-à-dire à QT :

$$Q_T = q_{mas} \times (h_L - h_S)$$

avec

- q_{mas} : débit masse-air sec au soufflage en kg/s
- h_S : humidité absolue de l'air soufflé en kJ/kg air sec
- h_L : humidité absolue de l'air repris en kJ/kg air sec

On connaît h_L qui est l'enthalpie de l'air extrait (l'air extrait peut être considéré comme représentatif de l'air ambiant si la distribution d'air est correcte et homogène). Pour calculer q_{mas} , il suffit de fixer h_S c'est à dire les conditions de soufflage.

On peut aussi relier q_{mas} aux charges latentes et sensibles :

Bilan sensible :

$$Q_S \approx q_{mas} \times C_p \times (\theta_L - \theta_S)$$

q_{mas} : débit masse-air sec au soufflage en kg/s

θ_L : température dans le local (K)

θ_S : température de soufflage (K)

C_p : capacités thermiques massiques ($C_p \approx 1 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$)

Bilan latent :

$$\Phi_L = q_{mas} \cdot L_v \cdot (r_L - r_S) = M \cdot L_v$$

L_v : chaleur latente de vaporisation de l'eau $L_v \approx 2500 \text{ [kJ/kg]}$

r_L : humidité absolue de l'air du local ($\text{kg}_{\text{eau}}/\text{kg}_{\text{as}}$)

r_S : humidité absolue de l'air soufflé ($\text{kg}_{\text{eau}}/\text{kg}_{\text{as}}$)

IX.4.3.5) Écart au soufflage

L'écart de température au soufflage représente la différence algébrique entre la température de soufflage et la température du local :

$$\Delta\theta = \theta_S - \theta_L \text{ ou } \Delta\theta = \theta_L - \theta_S$$

Cet écart est toujours positif quelle que soit la position du point de soufflage par rapport à celui du local. Il dépend du type de bouches utilisées. On peut prendre en première approximation les valeurs suivantes :

- Soufflage été : $\Delta\theta$ = de 5 à 15 K
- Soufflage hiver : $\Delta\theta$ = de 5 à 20 K

IX.4.3.6)) Taux de brassage

Le taux de brassage représente le volume d'air traité renouvelé dans le local pendant une heure :

$$\tau = qv/V$$

τ = taux de brassage en h^{-1}

V = volume du local en m^3

qv = débit volumique de soufflage en m^3/h .

Il dépend du type de bouches de soufflage installées. Il ne dépasse pas $15h^{-1}$ en climatisation de confort et peut aller jusqu'à 30 en climatisation industrielle.

IX.5) Inconvénients de la climatisation

Problèmes sur la santé :

- Transmission de virus
- Choc thermique
- Encrassement des filtres

Environnement :

- Dépense énergétique
- Utilisation pour certains de gaz frigorigènes (HFC)

IX.6) Législation

Le décret n° 2007-363 du 19 mars 2007, Art. R. 131-29, interdit le fonctionnement des climatiseurs lorsque la température des locaux est inférieure ou égale à 26 °C. Le décret n'est encore qu'une recommandation dont la non application n'est pas poursuivie par la loi. Le but est simplement de pousser les utilisateurs à modérer leur utilisation de ce type d'équipement.

X) Chauffage

X.1) Introduction

Le chauffage est utilisé pour maintenir ou améliorer des conditions d'ambiances vivables pour les occupants dans les espaces clos constituant des lieux de vie. Le confort de l'occupant dépend de différents éléments :

- Température moyenne
- Température des parois
- Température des filets d'air
- Humidité
- Qualité de l'air

Le chauffage doit répondre au besoin de chauffage. Ce dernier est calculé en faisant bilan des apports et des déperditions :

- **Apports internes** : du aux personnes, à l'éclairage...
- **Apports solaire** : dépend du climat, de l'orientation, des surfaces vitrées...
- **Déperditions** : liées à l'enveloppe du bâtiment (isolation, pont thermique...)

Ce besoin de chauffage est mis en parallèle avec le rendement énergétique du système de chauffage et avec l'inertie du bâtiment.

X.2) Composants

Un système de chauffage comprend nécessairement :

- Une source de chaleur
- Un émetteur de chaleur
- Un stockage de chaleur (optionnel)
- Un système de transport de chaleur

X.2.1) Source de chaleur

La source de chaleur passe généralement la transformation d'un matériaux (bois, fioul...) ou d'une énergie (électricité) en chaleur. Il existe beaucoup de systèmes différents. Un système de chauffage fonctionne à partir d'une énergie primaire. On distingue :

- La biomasse (bois énergie, biocarburants, biogaz...)
- Les carburant fossile (pétrole, fioul, charbon...)
- La géothermique et Pompe à chaleur
- L'énergie solaire
- L'électricité
- Le gaz

X.2.2) Emetteur de chaleur

Il permet l'échange de l'énergie thermique entre la source de chaleur et l'espace à chauffer. Il peut être :

- **statique** (radiateur, un convecteur, un plancher chauffant...) : l'émetteur transmet sa chaleur par convection et/ou rayonnement
- **dynamique** (ventilo-convecteur, centrale de traitement d'air...) : ventilateur qui pulse l'air au travers d'une batterie chaude et qui transmet la chaleur au milieu ambiant par recyclage et mouvement d'air.

X.2.3) Stockage de chaleur

Cela peut se faire sous différentes formes. La plus classique est le ballon d'eau chaude.

X.2.4) Transport de chaleur

Le transport de la chaleur est réalisé par différents moyens :

- **L'eau chaude** : l'eau réchauffée (L'installation comporte un générateur de chaleur (chaudière), une distribution d'eau et des émetteurs de chaleur) ;
- **L'air pulsé** : l'air ambiant réchauffé (L'installation comporte un générateur d'air chaud et le plus souvent une distribution de cet air chaud) ;
- **Un fluide caloporteur** : en général une huile (réservé aux très grosses installations et en général au transport de la chaleur entre la production centralisée et des sous-stations qui sont des interfaces entre un réseau de production dit « primaire » et un réseau de distribution jusqu'aux émetteurs de chaleur dit « secondaire »).

X.3) Type d'installation

Le système peut être :

- **Chauffage central** : La production thermique centralisée est privée (individuelle ou collective) ou provient d'un réseau public. Il comprend en outre une distribution et des émetteurs de chaleur.
- **Chauffage individuel** : L'installation peut-être composée d'une production thermique avec une distribution et des émetteurs de chaleur ou d'émetteurs de chaleurs individuels.

On peut distinguer aussi les énergies primaires selon le système :

- **Réseau** : gaz, électricité...
- **Réseau de chaleur** : installation comprenant une chaufferie fournissant de la chaleur à plusieurs clients par l'intermédiaire de canalisations de transport de chaleur.
- **Individuel** : bois, solaire

X.4) Réseau de gaz (gaz naturel) :

Le gaz naturel est un mélange d'hydrocarbures présent naturellement dans des roches poreuses sous forme gazeuse. Il y a deux types de gaz :

- Type H : fourni par la Russie, l'Algérie, la Norvège
- Type b : fourni par les Pays-Bas (Nord Pas-de-Calais)

Une installation gaz comprend :

- Compteur
- Prise de branchement au réseau
- Organe de coupure générale (extérieur)
- Régulateur éventuel
- Colonne montante (collectif)

Le raccordement au réseau de gaz fait l'objet d'une attention particulière (du fait de sa dangerosité). Il y a une réglementation lourde (arrêté du 2 août 1977 pour le raccordement des immeubles collectifs, Arrêté du 18 août 1986 pour les conduites...).

Les principaux dangers du gaz naturel sont :

- inflammation
- explosion du mélange air/gaz :
- gaz comprimé : La libération du gaz comprimé à forte pression peut s'accompagner de projections d'objets (éclats métalliques, terre, pierres...).
- en milieu confiné de par sa composition, le gaz naturel peut agir à forte concentration, par inhalation, comme gaz asphyxiant par privation d'oxygène.
- intoxication en cas de combustion incomplète

X.5) Systèmes à eau chaude

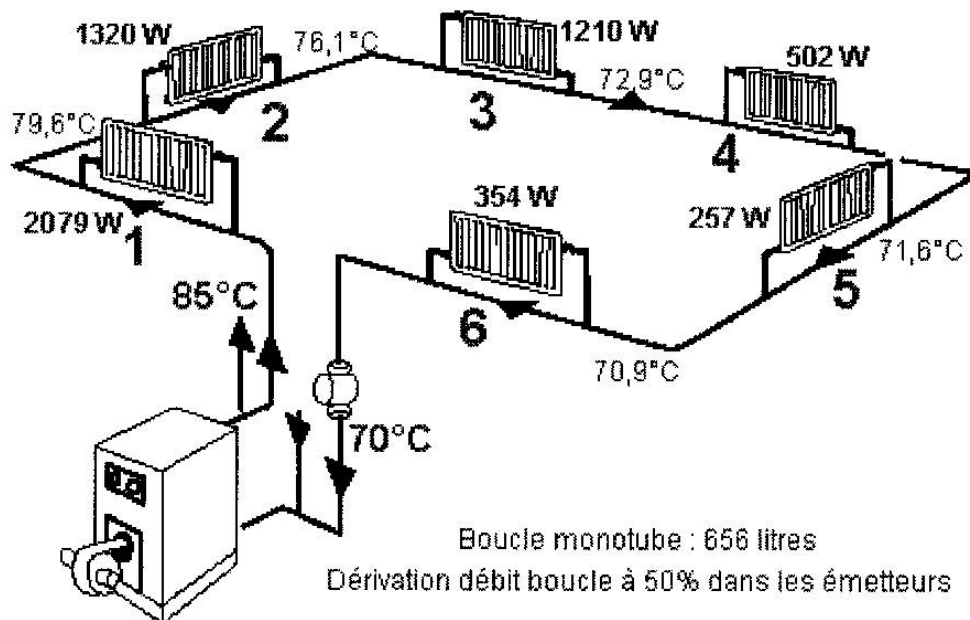
C'est un système très courant ; il permet de chauffer en même temps l'eau chaude sanitaire (ECS). Il peut être à circulation naturelle ou forcée.

Circulation naturelle : La circulation naturelle est provoquée par la différence de densité entre l'eau chauffée à 90° dans la chaudière (+ légère: 0,96552 kg/dm³) et l'eau plus froide (70°) venant des radiateurs (0,97787 kg/dm³).

Circulation forcée : En plaçant une pompe de circulation dans un réseau hydraulique, on peut envoyer des volumes d'eau importants à travers des tuyauteries d'un diamètre limité. C'est ce qu'on appelle la circulation forcée.

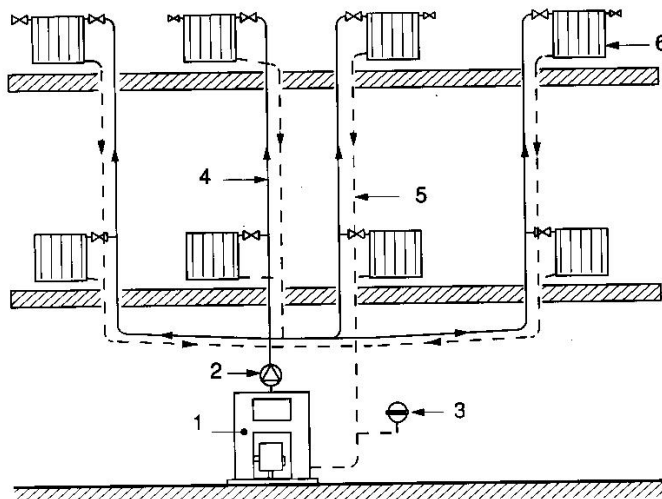
Le réseau peut être monotube ou bitube.

Réseau monotube : Le réseau le plus simple se compose d'une seule tuyauterie qui relie tous les radiateurs (système monotube). L'eau chaude circule à travers chaque radiateur ou convecteur et poursuit ensuite son chemin.



Cette application demande que la pression de refoulement de la pompe de circulation soit relativement élevée et d'autre part, la température de l'eau diminuant après chaque traversée des corps de chauffe impose un surdimensionnement des radiateurs les plus éloignés. En outre, ceux-ci ne peuvent pas être régulés séparément. Une vanne de régulation commandée par thermostat peut être installée en tête de boucle. Le système monotube peut être sensiblement amélioré en plaçant les radiateurs en dérivation (by-pass) dans chaque circuit. De cette manière, chaque radiateur peut être équipé d'une vanne de régulation à 4 voies avec tête thermostatique, qui règle le débit de chaleur de l'appareil.

Réseau bi-tube : Ce circuit est constitué d'un aller-retour allant de la chaudière aux radiateurs. Il permet d'avoir une régulation différenciée pour les différentes zones.



- | | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| 1 chaudière | 2 circulateur |
| 3 vase d'expansion | 4 circuit de départ chauffage |
| 5 circuit de retour chauffage | 6 corps de chauffe |

X.6) Chauffage à air chaud

X.6.1) Circulation naturelle

Dans ce type d'installation, l'air est seulement mis en mouvement par la pression d'air qui naît du fait de la différence de poids volumique entre l'air chaud (plus léger) et l'air froid (plus lourd) de reprise (15 à 20 °C). La circulation naturelle a pour désavantages.

- il est nécessaire de disposer de gaines de grande section
- Problème en cas de vents défavorables
- la vitesse de circulation faible, induisant une grande inertie calorifique

Afin de faire fonctionner le système, il est absolument nécessaire que la différence de hauteur entre le générateur et les bouches d'aspiration d'air soit suffisamment grande.

X.6.2) Air chaud pulsé

Dans ce cas, le générateur est équipé d'un ventilateur qui est entraîné par un moteur électrique et grâce auquel l'arrivée d'air dans le réseau reste en permanence sous contrôle.

Avantages

- les gaines sont beaucoup plus petites
- pas de contraintes au niveau des pertes de charge
- on peut chauffer de grands volumes
- pas d'inertie grâce à une mise en régime rapide
- régulation de température aisée
- traitement de l'air

Inconvénients :

- Consommation énergétique
- Demande d'entretien
- Coût
- Acoustique

X.7) Le chauffage par le sol

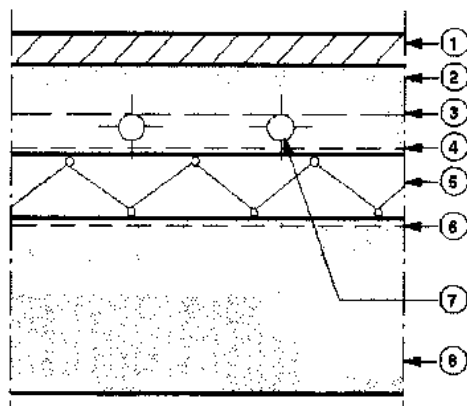
La particularité du chauffage par le sol (chauffage par rayonnement) est qu'il est totalement invisible. Un système de tuyauteries est noyé dans la chape. L'eau qui circule dans cette tuyauterie a la température suffisante pour compenser les déperditions calorifiques.

Deux types de système :

- Système humide
- Système sec
- Système sec-humide

X.7.1) Le système humide

Dans les systèmes humides (les plus répandus) le tuyau de chauffage est entièrement noyé dans la chape et celle-ci repose sur une couche d'isolation thermique. Le rendement de chaleur est très élevé (77 à 79%) et la perte vers la couche inférieure est relativement faible. L'émission de chaleur du plancher se situe généralement entre 92 et 104 W/m².

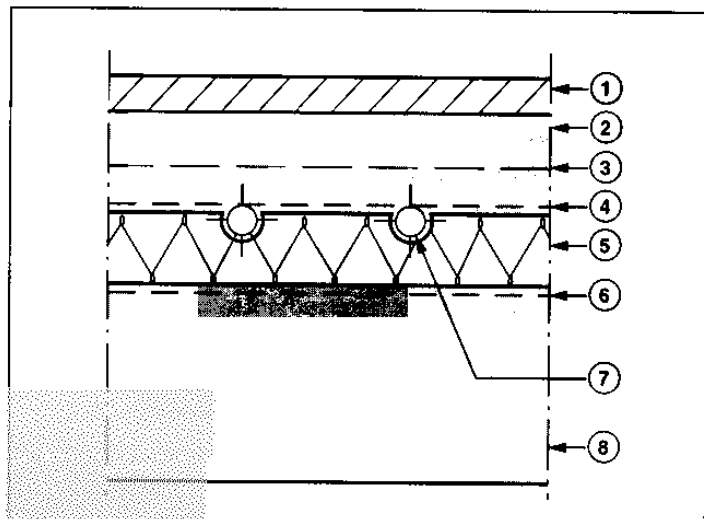


SCHEMA DE PRINCIPE DU SYSTEME HUMIDE

1. Revêtement de sol
2. Chape
3. Armature ou treillis de renforcement
4. Film de polyéthylène
5. Couche d'isolation
6. Film de polyéthylène
7. Tuyau de chauffage + système de fixation
8. Dalle portante

X.7.2) Le système sec

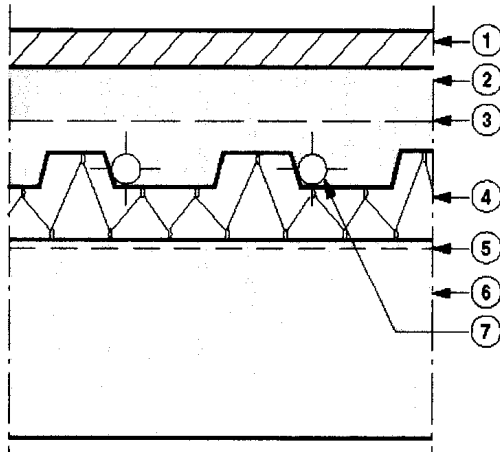
Lorsque l'épaisseur de la chape est limitée ou si la dalle portante ne peut pas être trop lourde, le système sec constitue la seule solution. C'est la solution la plus utilisée dans les bâtiments en rénovation. A cet effet, les tuyaux de chauffage se trouvent dans l'isolation de sorte que la chape doit avoir une épaisseur supplémentaire de 5 cm seulement. En moyenne, on peut s'attendre à ce que les systèmes secs fournissent 15 % de chaleur en moins que les systèmes humides.



- 1 Revêtement de sol
- 2 Chape
- 3 Armature ou treillis de renforcement
- 4 Film en polyéthylène
- 5 Couche d'isolation
- 6 Film en polyéthylène
- 7 Tuyau de chauffage
- 8 Dalle portante

X.7.3) Le système sec-humide ou système semi-sec

Dans ce système, on essaie de combiner les avantages des deux systèmes précédents. Le tuyau de chauffage est posé sur des panneaux d'isolation spécialement étudiés et le tuyau est partiellement noyé dans la chape. L'émission de chaleur n'est que de 5 % inférieure à celui d'un système humide.

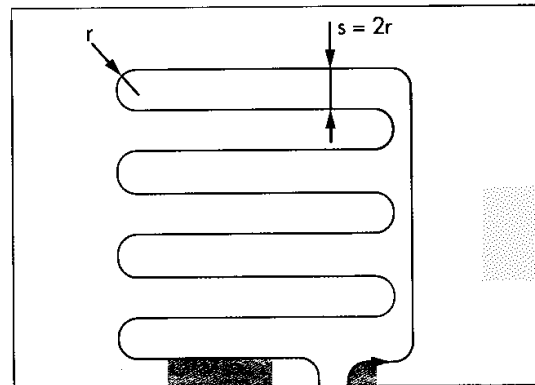
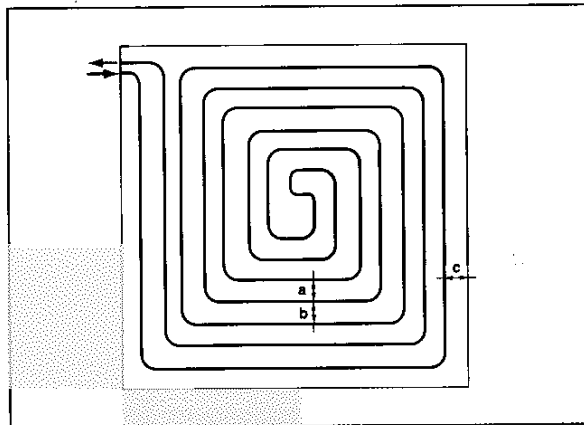


SCHEMA DE PRINCIPE D'UN SYSTEME SEC-HUMID

1. Revêtement de sol
2. Chape
3. Armature ou treillis de renforcement
4. Panneau isolant
5. Film en polyéthylène
6. Dalle portante
7. Tuyau de chauffage

X.7.4) Mode de pose

La bonne technique consiste à réaliser le moins de courbes possible, mais en les faisant les plus larges possibles. On a deux modes de pose, une pose en spirale et une pose en parallèle. Pour une distance égale entre les tuyaux, le dégagement total de chaleur est le même pour les deux systèmes. Pour la pose en spirale, la température de surface est cependant mieux répartie. Avec la pose en parallèle, on obtient inévitablement une zone plus chaude au début de la boucle.



En principe, on pose une seule boucle de rayonnement par local. Afin d'éviter des pertes de pression exagérées, on limite le plus souvent la longueur des tubes en plastique à 120 m. Un tube de 20 mm de diamètre peut chauffer une surface de 17,5 m². Les grandes pièces doivent donc être équipées de plusieurs boucles adjacentes.

X.7.5) Revêtements et chauffage au sol

Lorsque l'on choisit un chauffage au sol, il faut faire attention au choix du revêtement. Il faut éviter :

- revêtement de sol relativement isolant (tapis de laine).
- tous les matériaux avec couche bitumineuse ou traités avec des résines synthétiques
- moquettes à support épais en caoutchouc mousse

Il faut surveiller :

- les moquettes à base de jute
- les dalles en PVC
- le parquet

et choisir de préférence un sol carrelé en terre cuite ou en pierre naturelle.

X.7.6) Le confort

Dans le cas du rayonnement au sol, la température plus élevée de la dalle permet, à confort équivalent, de réduire la température ambiante de 1 à 2 °C. Sur le plan physiologique, la répartition de la température sur la hauteur du local doit idéalement être telle qu'à hauteur d'homme, la température est 2 °C plus basse qu'à la hauteur du sol. Le chauffage par le sol est celui qui se rapproche le plus de cette répartition idéale sans qu'il y ait accumulation d'air chaud au plafond (dôme de chaleur). La température du sol doit se situer entre 20 et 26 °C dans les locaux où de nombreuses personnes se tiennent debout ou marchent (dans des circonstances extrêmes 28 °C) et 2 °C plus haut dans les locaux où les gens sont assis et dans les salles de bains.

X.7.7) La distribution hydraulique

La distribution d'eau de la chaudière aux boucles de chauffage par le sol se fait de la même manière que pour une installation classique. Une colonne montante en acier amène l'eau chaude aux différents collecteurs principaux. Sur chaque boucle de rayonnement doit être prévue: une vanne manuelle de réglage et d'arrêt, un robinet de compensation des pertes de charge (T réglable) et un purgeur d'air. Les circuits de radiateurs peuvent être combinés avec le chauffage par le sol s'ils ont été calculés pour basse température.

X.7.8) Avantages et inconvénients

Les avantages et inconvénient d'un chauffage par le sol sont :

Avantages

- Système économique
- chaleur est homogène dans le plan horizontal
- Pertes limitées sur la chaudière (températures basses)
- Sur le plan esthétique on ne voit aucun appareil de chauffe
- Pas besoin de radiateurs
- Peu bruyant

Désavantages

- Les temps de réchauffement et de refroidissement sont longs.
- Certains revêtements de sol sont indésirables ou même proscrits;
- Déconseiller aux personnes qui souffrent de problèmes circulatoires des membres inférieurs

X.8) Exemples de solutions matérielles pour différents types de chauffage

Solutions matérielles (exemples)			
Production de chaleur	Émission de chaleur	Énergie	Restitution de la chaleur
Chaudière	Radiateurs Plancher chauffant	Fioul, gaz, bois, électricité	Convection Rayonnement
Système de climatisation	Terminaux de soufflage	Electricité	Convection forcée
Capteurs solaires associés à une chaudière	radiateurs plancher chauffant	Solaire + énergie complémentaire (électricité, fioul, gaz)	Convection Rayonnement
Foyer insert associé à un réseau de distribution d'air chaud	Terminaux de soufflage (bouches)	Bois	Convection forcée
Chaudière à air pulsé	réseau de gaines bouches de soufflage	Gaz, fioul	Convection forcée
Pompe à chaleur	plancher chauffant (de préférence)	Electricité	rayonnement

Critères	Chauffage individuel	Chauffage central eau	Chauffage par le sol	Chauffage par air chaud
habitation mal isolée habitation bien isolée	oui oui	Ou oui	Non oui	Non oui
nouvelle construction construction existante	Oui possible	Oui possible	Possible difficile	Possible très difficile
type de chaleur répartition thermique points faibles	ray. + convection irrégulière surchauffe	ray. + convection homogène ---	ray. + convection homogène ---	Convection homogène courants d'air
temps de relance intermittence sensible au gel nuisance sonore	Rapide bien adaptée non aucune	Normal adaptée oui parfois	très lent peu adaptée oui aucune	très rapide bien adaptée non parfois
production thermique pertes de distribution pertes d'émission	50 – 70 % aucune aucune	70 – 90 % jusque 5 % jusque 5 %	70 – 90 % 5 – 10 % 10 %	70 – 90 % 5 – 10 % aucune
Régulation: centralisée par pièce horaire	Possible bonne possible	Bonne moyenne bonne	Bonne très mauvaise difficile	Bonne mauvaise moyenne
Coûts: investissement consommation entretien	\$ \$ \$	\$\$\$ \$\$ \$	\$\$\$\$ \$\$ \$	\$\$\$\$ \$\$\$ \$\$

X.8) Cadre réglementaire

Réglementation thermique en France :

- Jusqu'à 2012 : RT 2005
- Actuellement (suite au Grenelle de l'environnement) : RT 2012

Cadre réglementaire :

- Décrets en Conseil d'Etat – RT 2012 et attestations de prise en compte de la réglementation thermique
- Décret n° 2010-1269 du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des constructions
- Décret n° 2011-544 du 18 mai 2011 relatif aux attestations de prise en compte de la réglementation thermique et de réalisation d'une étude de faisabilité relative aux approvisionnements en énergie pour les bâtiments neufs ou les parties nouvelles de bâtiments
- Décret n° 2012-1530 du 28 décembre 2012 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des constructions de bâtiments

La RT2012 Ne s'applique pas :

- aux constructions provisoires (durée d'utilisation inférieure à 2 ans)
- aux bâtiments d'élevage
- aux bâtiments demandant des conditions particulières de température ou d'hygrométrie

L'objectif de la RT2012 est défini dans la loi sur la mise en œuvre du Grenelle de l'Environnement. Cet objectif reprend le niveau de performance énergétique défini par le label BBC-Effinergie.

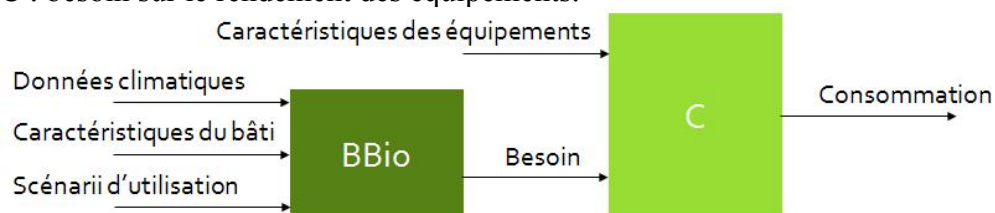
La réglementation thermique en vigueur est, par conséquent, renforcée afin que toutes les constructions neuves présentent, en moyenne, une consommation d'énergie primaire (avant transformation et transport) inférieure à 50 kWh/m²/an contre 150 kWh/m²/an environ avec la RT2005.

La RT2012 repose sur deux coefficients :

- le Besoin Bioclimatique (BBio)
- la Consommation (C).

BBio : déperditions (pertes naturelles et besoin des usagers) moins l'apport gratuit (chaleur humaine, du soleil, etc.)

C : besoin sur le rendement des équipements.



Afin d'être conforme à la future RT 2012, un bâtiment neuf devra respecter 3 exigences globales :

- Exigence d'efficacité énergétique minimale du bâti Bbiomax : Exigence de limitation du besoin en énergie pour les composantes liées au bâti (chauffage, refroidissement et éclairage)
- Exigence de consommation maximale Cepmax : Exigence maximale de consommation d'énergie primaire à 50 kWh/m².an en moyenne ; 5 usages pris en compte : chauffage, production d'eau chaude sanitaire, refroidissement, éclairage, auxiliaires (ventilateurs, pompes)
- Exigence de confort d'été Tic : Exigence sur la température intérieure atteinte au cours d'une séquence de 5 jours chauds inférieure à une température de référence (Tic)

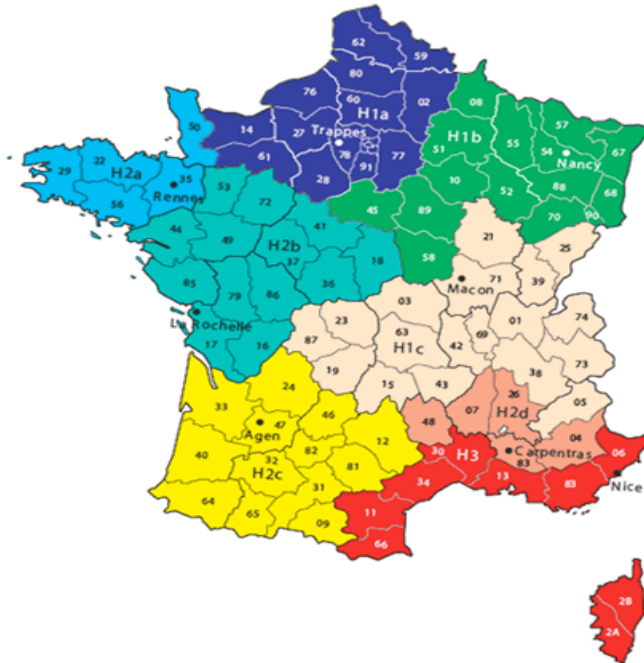
L'efficacité énergétique du bâti

Cette exigence impose une limitation simultanée du besoin en énergie pour les composantes liées à la conception du bâti (chauffage, refroidissement et éclairage), imposant ainsi son optimisation indépendamment des systèmes énergétiques mis en œuvre.

La valeur moyenne du Bbio est modifiée par des coefficients correcteurs :

$$B_{\text{biomax}} = B_{\text{biomaxmoyen}} \times (M_{\text{bgéo}} + M_{\text{balt}} + M_{\text{bsurf}})$$

$M_{\text{bgéo}}$: modificateur selon la zone géographique. La RT2012 connaît 8 huit zones météorologiques.



M_{bAlt} : Modification selon l'altitude

M_{bSurf} : Coefficient de modulation selon la surface du bâtiment.

La consommation énergétique du bâtiment

Consommations de chauffage, de refroidissement, d'éclairage, de production d'eau chaude sanitaire et d'auxiliaires (pompes et ventilateurs).

$$C_{\text{epmax}} = 50 \text{ kWh/(m}^2\cdot\text{an)} \text{ d'énergie primaire.}$$

Comme pour le Bbio, le C_{ep} est modifié selon plusieurs paramètres :

$$C_{\text{epmax}} = 50 \times M_{\text{ctype}} \times (M_{\text{cgéo}} + M_{\text{calt}} + M_{\text{csurf}} + M_{\text{cGES}})$$

M_{ctype} : modificateur selon le type de bâtiment

$M_{\text{cgéo}}$: modificateur selon la zone géographique

M_{calt} : modificateur selon l'altitude

M_{csurf} : modificateur selon la surface

M_{cGES} : modificateur selon la source d'énergie (que pour le bois ou les réseaux de chaleur)

Comment atteindre 50 kWh/m².an pour les bâtiments ?

N° Solution	Isolation Int / Ext	Etanchéité air n ₅₀ (vol/h)	Résist. additionnelles [m ² .K/W]			U [W/m ² .K]	Ventilation
			Murs	Plancher bas	Toiture	Vitrages	
1	Int	3,0	6,0	4,5	10	1,1	Double Flux
2	Int	3,0	4,5	4,5	10	0,8	Double Flux
3	Int	1,0	4,5	4,5	10	1,7	Double Flux
4	Int	1,0	4,5	2,5	7,5	1,1	Double Flux
5	Ext	3,0	4,5	4,5	7,5	1,7	Double Flux
6	Ext	3,0	4,5	2,5	7,5	1,1	Double Flux
7	Ext	3,0	6,0	4,5	10	0,8	Hygro
8	Ext	1,0	4,5	2,5	7,5	1,7	Double Flux
9	Ext	1,0	2,8	2,5	7,5	1,1	Double Flux
10	Ext	1,0	4,5	2,5	7,5	0,8	Hygro

Le confort d'été dans les bâtiments non climatisés

A l'instar de la RT 2005, la RT 2012 définit des catégories de bâtiments dans lesquels il est possible d'assurer un bon niveau de confort en été sans avoir à recourir à un système actif de refroidissement. Pour ces bâtiments, la réglementation impose que la température la plus chaude atteinte dans les locaux, au cours d'une séquence de 5 jours très chauds d'été n'excède pas un seuil.

Logiciel de calcul

Le CSTB a développé un moteur de calcul appliquant la méthode Th-BCE et la distribue sous la forme d'une bibliothèque compilée. Cette bibliothèque est diffusée gratuitement à toute personne qui en fait la demande auprès du CSTB.

Logiciels conformes à la RT2012.

Editeur	Logiciel(s)	Site internet
BBS Slama	Clima-Win	www.bbs-slama.com
BBS Développement	DISCEPOLO	
CYPE	CYPECAD MEP	www.cype.fr
DesignBuilder CETTEG	DesignBuilder	www.batisim.net ; www.cetteg.fr
E4tech Software SA	Lesosai	www.lesosai.com
FAUCONNET Ingénierie S.A.	Visual TTH	www.fisa.fr
HPC-SA	ArchiWIZARD	www.archiwizard.fr
IZUBA énergies	Pleiades+Comfie, module RT2012	www.izuba.fr
LOGICIELS PERRENOUD	U22Win RT 2012 U21Win - Maisons individuelles	www.logicielsperrenoud.com

DPE : Diagnostic de performance énergétique

Il renseigne sur la performance énergétique d'un logement ou d'un bâtiment, en évaluant sa consommation d'énergie et son impact en terme d'émission de gaz à effet de serre.

La lecture du DPE est facilitée par deux étiquettes à 7 classes de A à G (A correspondant à la meilleure performance, G à la plus mauvaise) :

- l'étiquette énergie pour connaître la consommation d'énergie primaire ;
- l'étiquette climat pour connaître la quantité de gaz à effet de serre émise.

Consommations prises en compte : chauffage, climatisation, production d'eau chaude sanitaire (ECS), mais pas sur l'électricité spécifique (éclairage, appareils électroménagers, etc.).

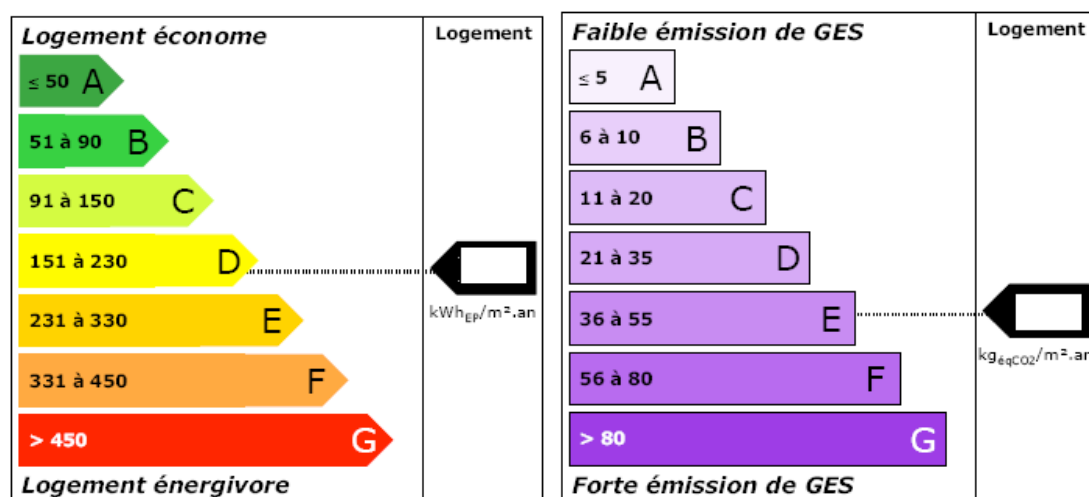
Sauf cas particuliers, un DPE est valable 10 ans.

Le diagnostic de performance énergétique doit être établi par un professionnel indépendant satisfaisant à des critères de compétence et ayant souscrit une assurance. Des organismes de certification de personnes, accrédités par le COFRAC (comité français d'accréditation), vérifient les compétences des candidats. Cette certification est obligatoire depuis le 1er novembre 2007. Quelques 6 000 professionnels ont déjà été certifiés pour la réalisation du DPE. Les diagnostiqueurs peuvent se déclarer auprès des intermédiaires immobiliers et des notaires qui pourront ainsi recourir à leurs services pour faire réaliser ces diagnostics.










Méthode de calcul :

Depuis le 1er juin 2013, la version 2012 de la méthode 3CL-DPE doit être utilisée. Celle-ci diffère de la version 2006 dans la mesure où elle est plus complète et exige notamment des précisions sur les ponts thermiques, les masques solaires, les parois donnant sur les locaux non chauffés et les systèmes énergétiques.

Méthode statique monozone relativement simple.



Logiciels certifiés pour le DPE

Éditeur	Logiciel	Version	Procédure volontaire 2008	Procédure obligatoire 2012	Transmission des DPE à l'Ademe
ATLANTE DEVELOPPEMENT	ATLANTE XPERT	2.0	Validé 	Validé 	oui
Atlibitum	Analysimmo DPE 3CL-2012	2.1.1.2	Validé 	Validé 	oui
BCTI	SiMeTric			Inscrit	
BBS Développement	Eco-Diag	1.0	Validé 	Validé 	oui
C2Partner				*	
Cardonnel	Bati-cube			*	
DIAGAMTER	W- TAB	21	Validé 	Validé 	oui
Erecie				*	
FAUCONNET Ingénierie SAS	Fisa-DPE	Fisa-DPE 2013		Validé 	oui

HPC-SA	ArchiWIZARD			*	
ITGA	Imm'PACT module DPE	7.0.4	Validé 	Validé 	oui
Impartial Software	Diagnostic Suite	7	Validé 		
La Vallée des Rois	DPE-Bâtiment	0.3	Validé 	Validé 	oui
LICIEL Environnement	LICIEL Diagnostics	4	Validé 	Validé 	oui
Logiciels Perrenoud	DPEWin	4	Validé 	Validé 	oui
OBBC Developpement	WINDPE			Validé 	oui
Office Expert	Expertec PRO	2.0	Validé 	Validé 	oui
PAP				*	
Qualiconsult	QualiDPE			Validé 	oui
Tekimmo				*	
Deveko	Domofit DPE	1.1		Validé 	oui

XI) Réseau d'eau - ECS

XI.1) Introduction

Consommation moyenne (Bordeaux) :

- **logement** : 120 m³/an (pour 2.3 habitants), soit env. 50 m³/an/hbt ou 150 l/j/hbt
- **commune (usage public)** : env. 4 m³/an/habitant (donnée girondine)
- **prix (base CUB 120 m³/an)** : 3,2 €TTC/m³ si assainissement, 1,5 €TTC/m³ eau seule

consomment le plus

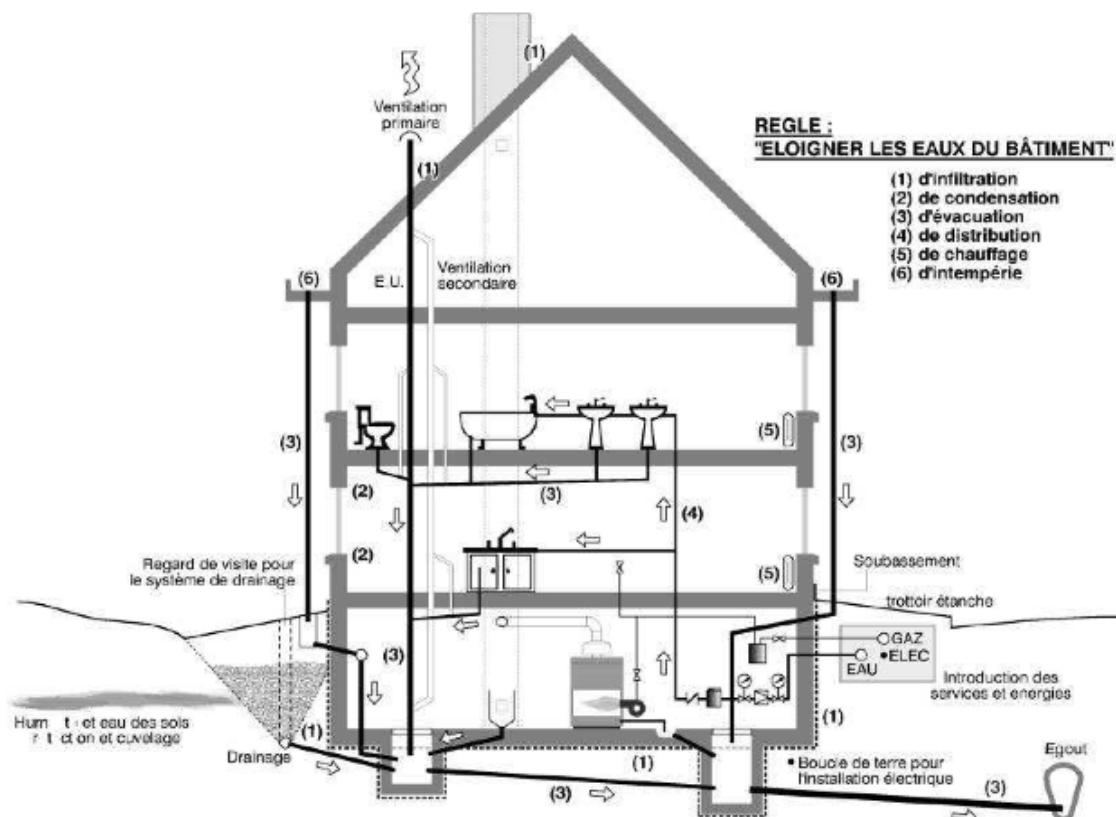
Pays Cœur Entre Deux Mers, onales)

prises ou collectivités, les ns des sanitaires sont importantes
ires, cf aéroport)



XI.2) Système eau dans un bâtiment

Quelques éléments sur l'eau dans les bâtiments :



On peut séparer les eaux en deux types : les eaux potables et les eaux non potables.

	Les eaux non potables (ENP)	Les eaux potables (EP)
Utilisations	Tous types sauf alimentaire	Tous types
Provenances	Sources, puits, eaux pluviales	Réseau public
Qualité Physique	Toujours réputées non conforme	Limite d'éléments en suspension
Qualité chimique		Taux de calcaire
Qualité bactériologique		Taux de microorganismes

XI.3) Récupération d'eau de pluie

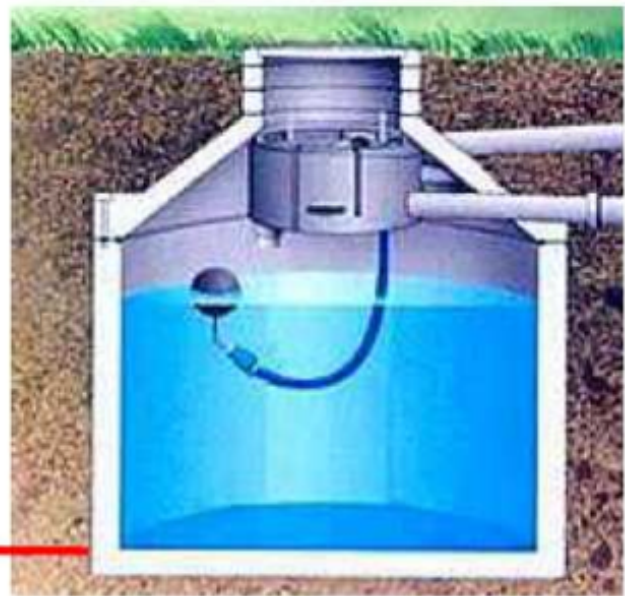
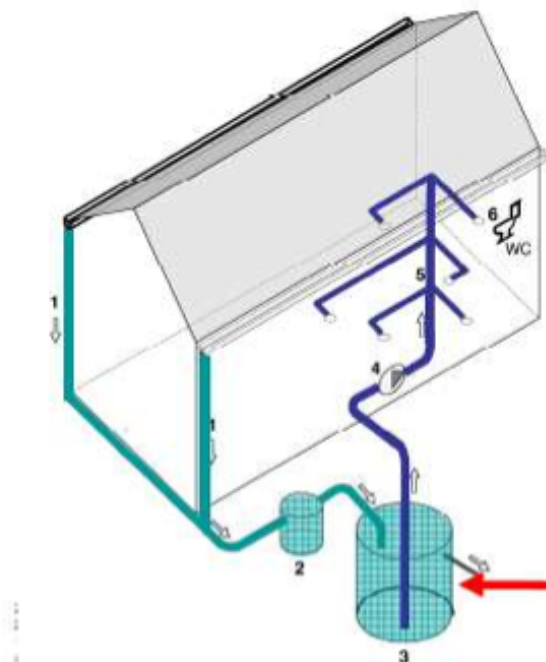
L'aspect réglementaire pour la récupération d'eau de pluie est abordé par l'arrêté du 21 août 2008 relatif à la récupération des eaux de pluie et à leur usage à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments. L'usage est autorisé pour :

Art. 2. – I. – L'eau de pluie collectée à l'aval de toitures inaccessibles peut être utilisée pour des usages domestiques extérieurs au bâtiment.

II. – A l'intérieur d'un bâtiment, l'eau de pluie collectée à l'aval de toitures inaccessibles, autres qu'en amiante-ciment ou en plomb, peut être utilisée uniquement pour l'évacuation des excréta et le lavage des sols.

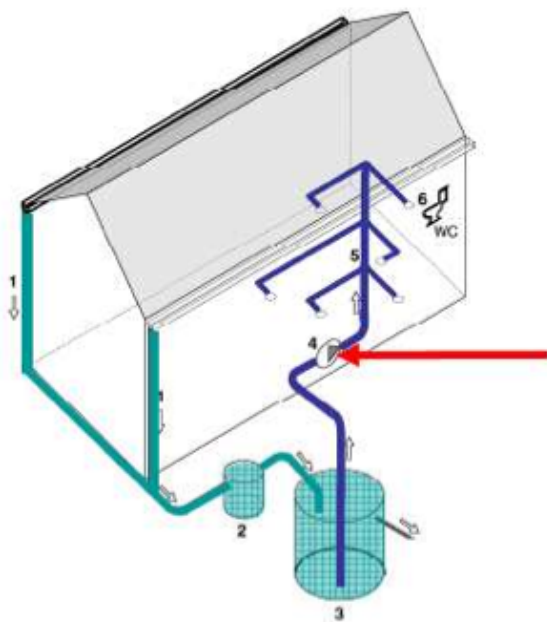
III. – L'utilisation d'eau de pluie collectée à l'aval de toitures inaccessibles est autorisée, à titre expérimental, pour le lavage du linge, sous réserve de mise en œuvre de dispositifs de traitement de l'eau adaptés

	Origines	Traitement préalable de l'eau	Stockage	Augmenter la pression	Traitement de la qualité de l'eau		
					physique	bactériologique	chimique
Eaux non potables	Eaux pluviales	Débourbeur	Citermes	Groupe hydrophore	Filtre	Le cas échéant	Si nécessaire un décalcarisateur ou adoucisseur.



La citerne d'eaux pluviales

	Origines	Traitement préalable de l'eau	Stockage	Augmenter la pression	Traitement de la qualité de l'eau		
					physique	bactériologique	chimique
Eaux non potables	Eaux pluviales	Débourbeur	Citermes	Groupe hydrophore	Filtre	Le cas échéant	Si nécessaire un décalcarisateur ou adoucisseur.



Le groupe hydrophore

XI.4) Pression dans les canalisations

Il est important de bien maîtriser la pression dans les canalisations (que ce soit de l'eau potable ou non). Généralement on cherche à maintenir la pression entre 1 et 2 bars. Les robinetteries sont prévues généralement pour des pressions inférieures à 3 bars.

Si la pression est trop forte :

- Nuisances acoustiques
- Inconfort thermique (mélange eau froide/eau chaude irrégulier)
- Limitation de la durée de vie des produits

Si la pression est trop faible :

- Débit faible au niveau de la robinetterie

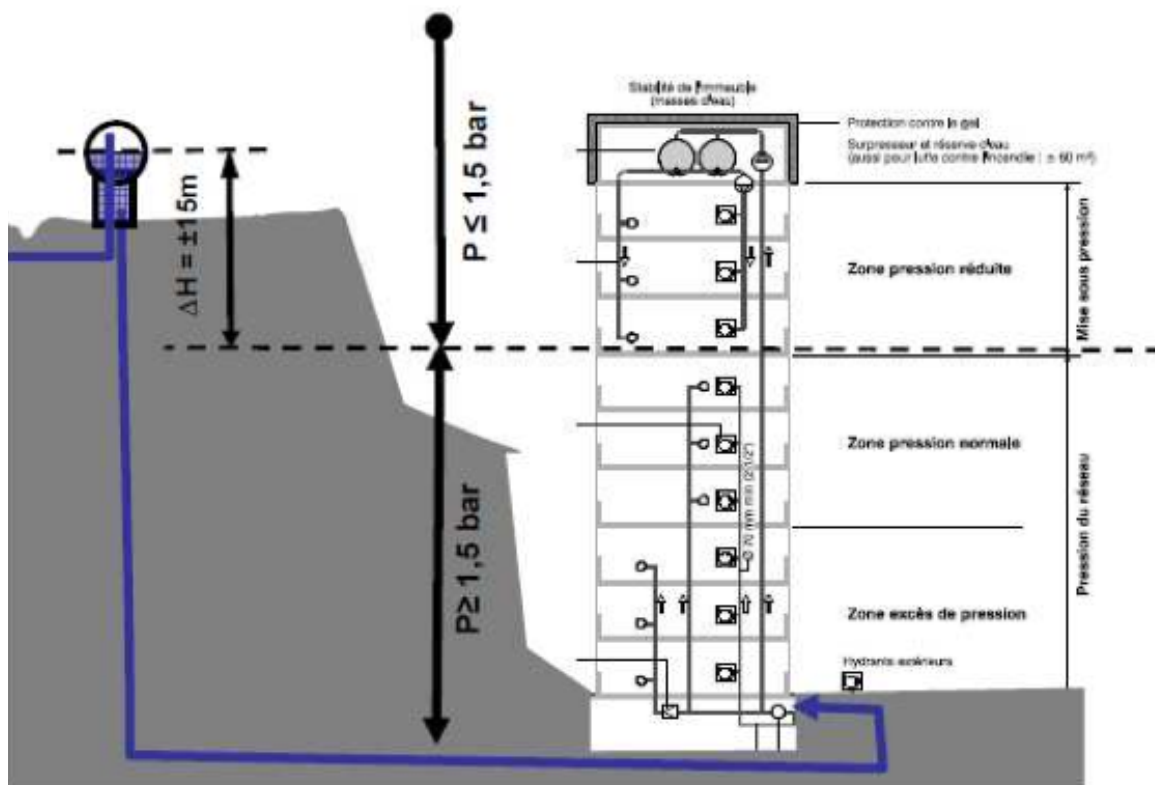
Pour réguler la pression on utilise :

- Réducteur de pression d'eau
- Pompes et supprimeurs

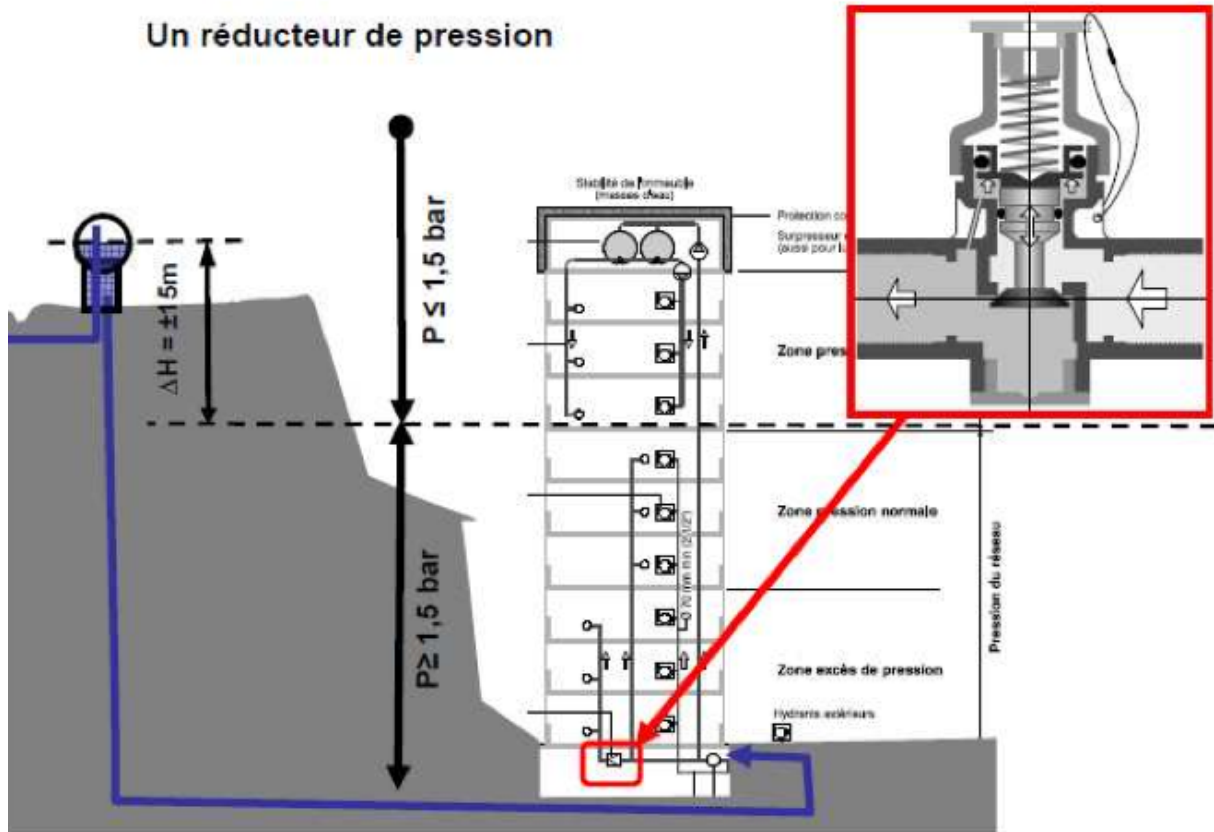
Ce sont des éléments qu'il faudra dimensionner en fonction :

- Des pertes de charge dans le réseau
- De la dimension du réseau
- De la configuration verticale
- Des équipements
- Du débit espéré

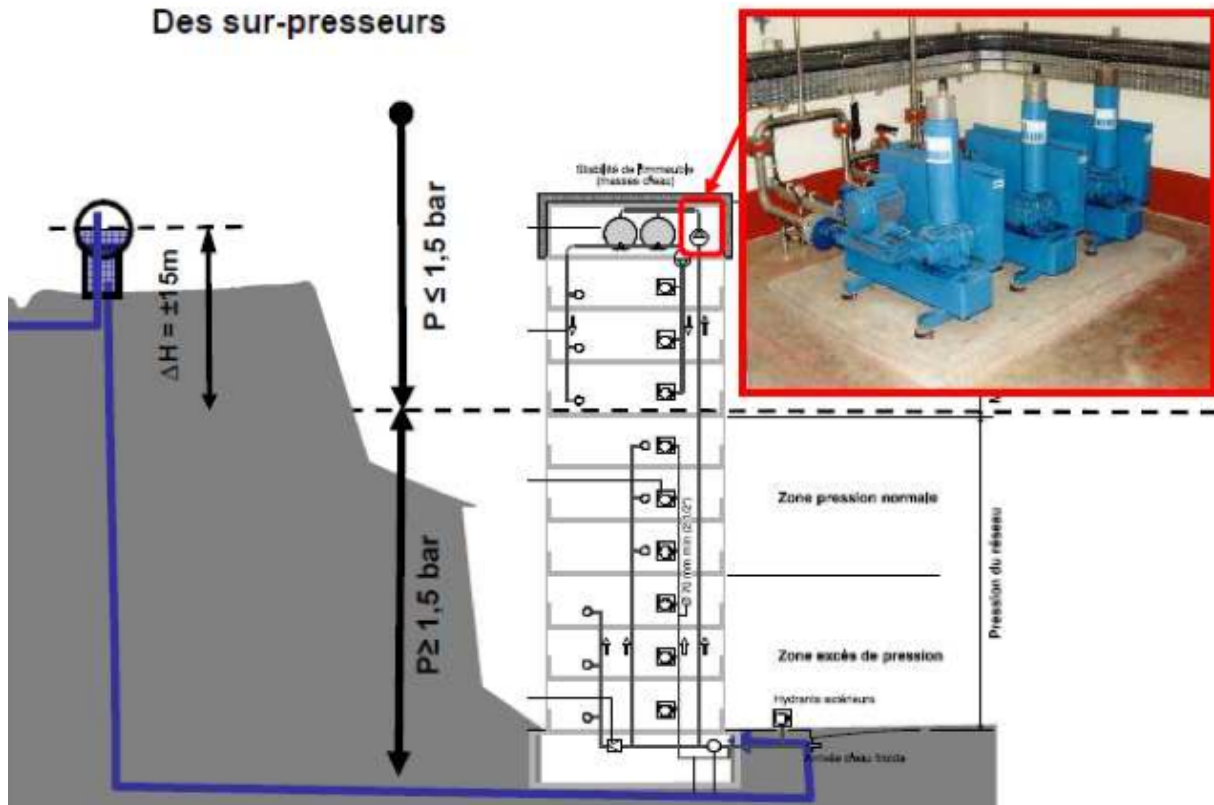
La pression minimale nécessaire est de $150\text{kPa} = \pm 1,5 \text{ bar (kg/cm}^2\text{)} = \pm 15 \text{ m de colonne d'eau}$ ($100\text{kPa} = 1 \text{ bar (Kg/cm}^2\text{)} = 10\text{m de colonne d'eau}$)



Un réducteur de pression

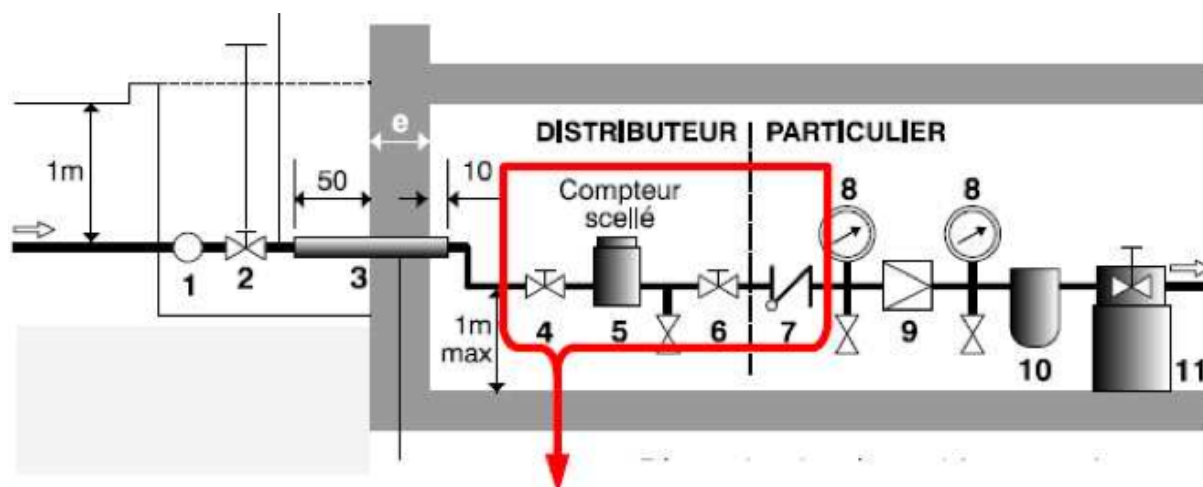


Des sur-presseurs



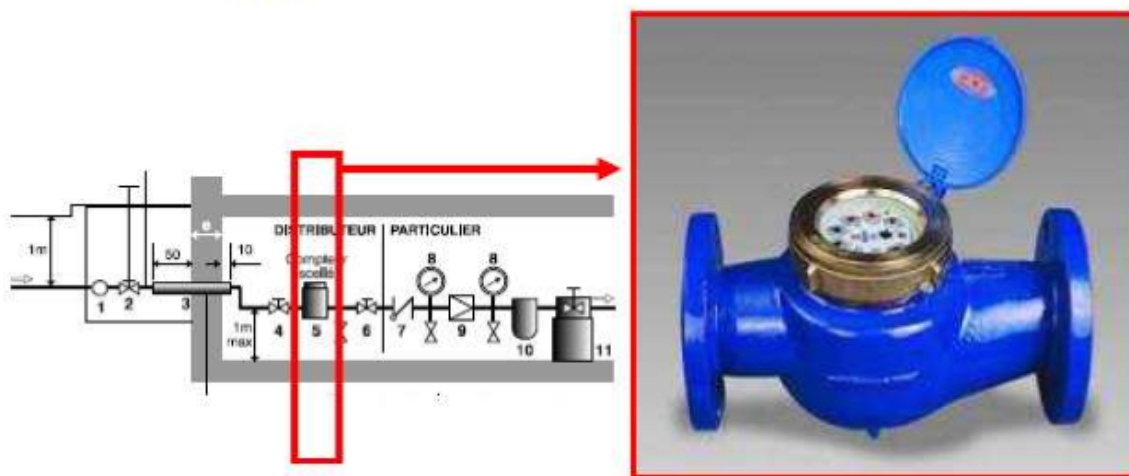
XI.5) Le branchement au réseau public

Les différents éléments qui permettent le branchement des particuliers au réseau public sont :



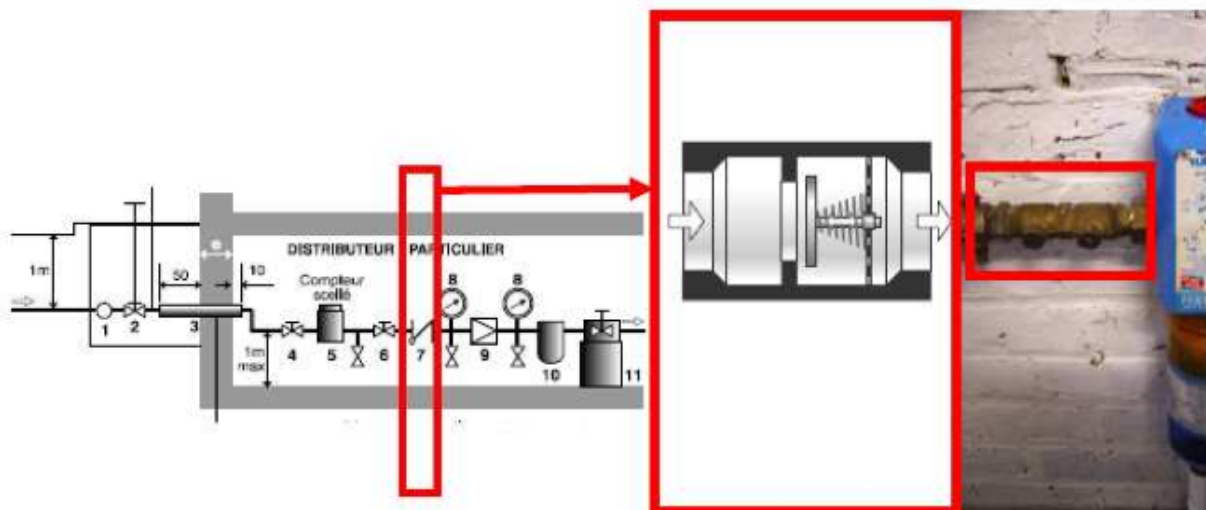
	Origines	Branchement particulier	Traitement de la qualité de l'eau		
			physique	chimique	bactériologique
Eaux potables	Réseau public	Vanne d'isolement + Compteur + Vanne d'isolement + Clapet anti-retour	Filtre généralement nécessaire	Si nécessaire, un décalcariateur ou adoucisseur.	En principe, pas nécessaire

Le compteur



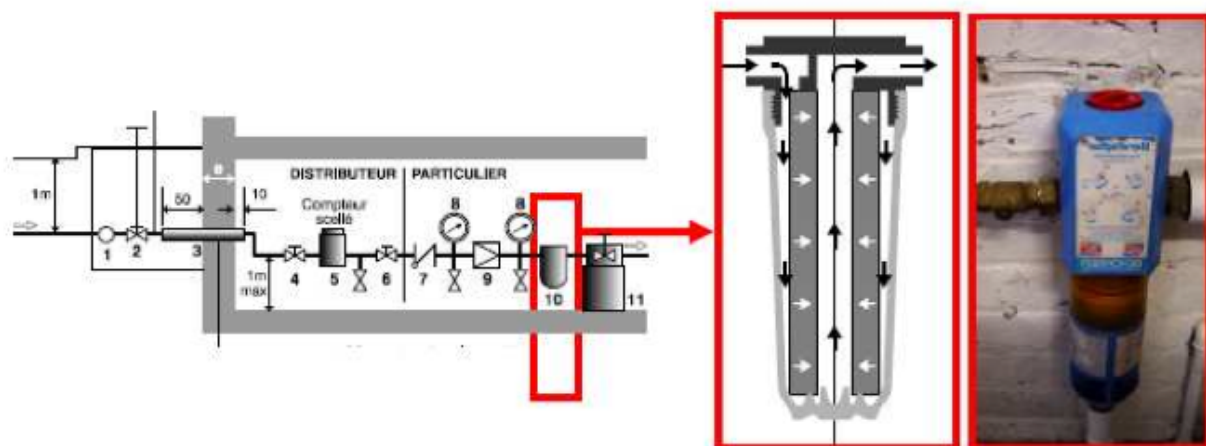
	Origines	Branchement particulier	Traitement de la qualité de l'eau		
			physique	chimique	bactériologique
Eaux potables	Réseau public	Vanne d'isolement + Compteur + Vanne d'isolement + Clapet anti-retour	Filtre généralement nécessaire	Si nécessaire, un décalcariateur ou adoucisseur.	En principe, pas nécessaire

Le clapet anti-retour



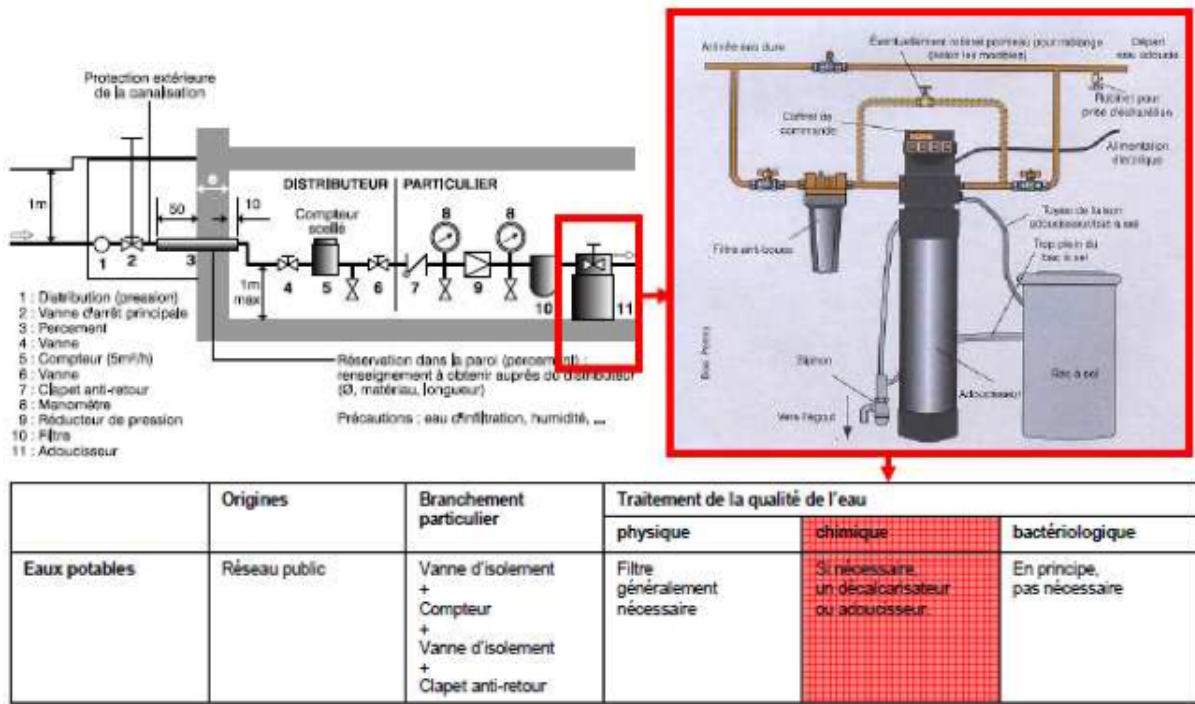
	Origines	Branchement particulier	Traitement de la qualité de l'eau		
			physique	chimique	bactériologique
Eaux potables	Réseau public	Vanne d'isolement + Compteur + Vanne d'isolement + Clapet anti-retour	Filtre généralement nécessaire	Si nécessaire, un décalcificateur ou adoucisseur.	En principe, pas nécessaire

Le filtre physique ou filtre à boues

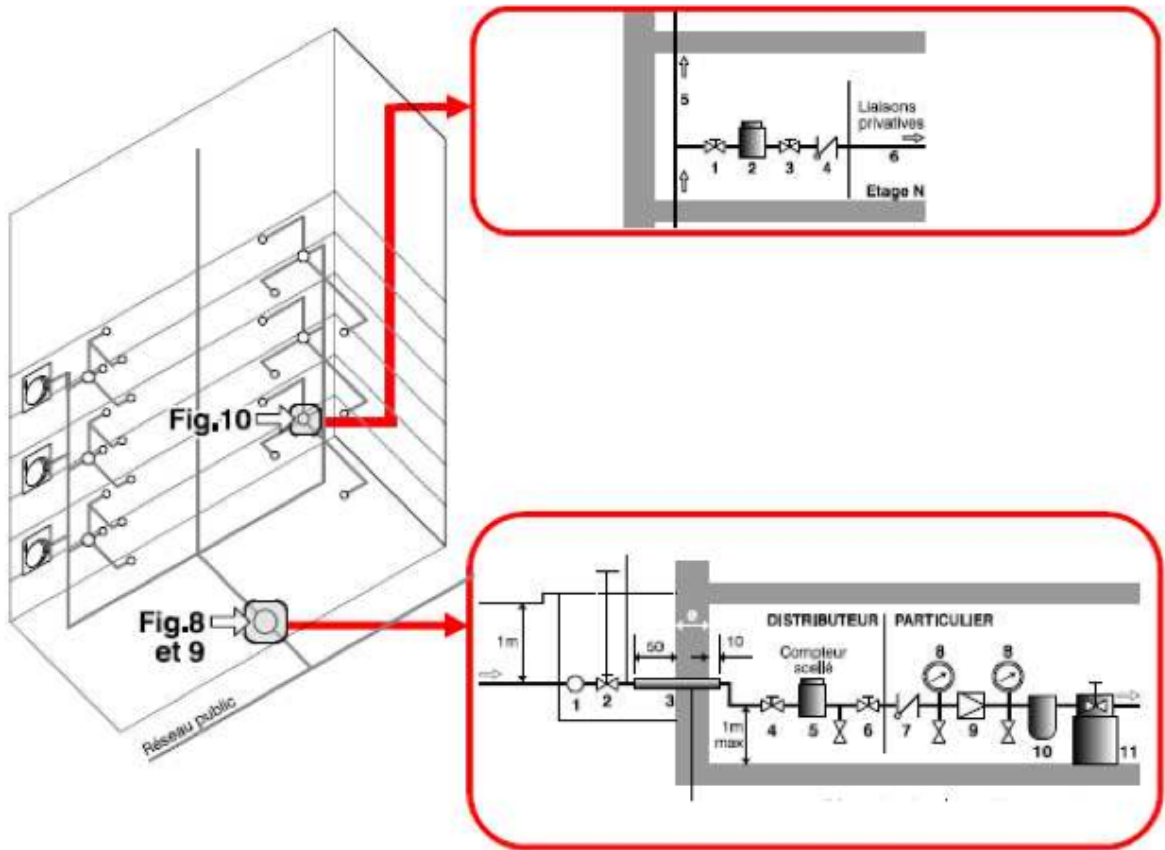


	Origines	Branchement particulier	Traitement de la qualité de l'eau		
			physique	chimique	bactériologique
Eaux potables	Réseau public	Vanne d'isolement + Compteur + Vanne d'isolement + Clapet anti-retour	Filtre généralement nécessaire	Si nécessaire, un décalcificateur ou adoucisseur.	En principe, pas nécessaire

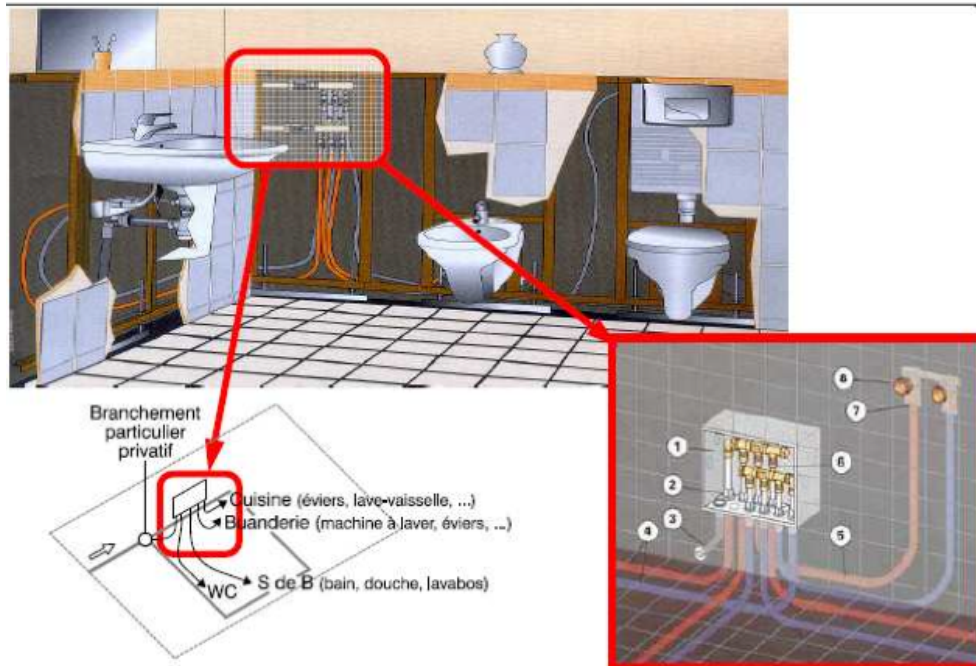
Le décalcarisateur ou « adoucisseur »



XI.6) Arrivée d'eau dans le bâtiment



Arrivée d'eau dans les salles d'eau :



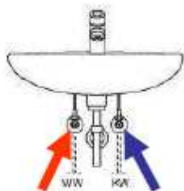
XI.7) Equipements liés à l'eau

Robinetterie :

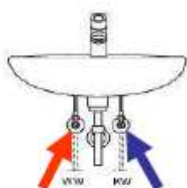
- Robinet



- Robinet mélangeur



- Mitigeur



Equipements liés à l'eau :

- Evier/lavabo
- Cuvette WC
- Douche
- Baignoire
- Lave linge
- Lave vaisselle

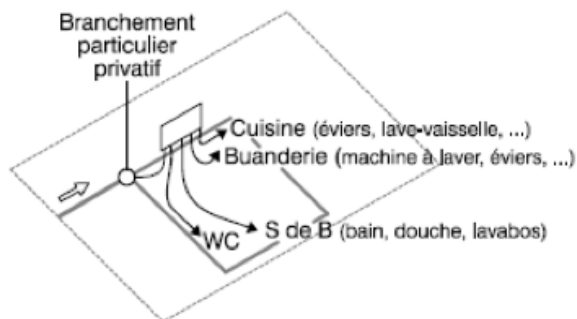
Matériaux :

- Céramique : grès, faïence, porcelaine
- Fonte emmaillée
- Acier inoxydable
- Tôle emmaillée
- PVC
- Acrylique sanitaire

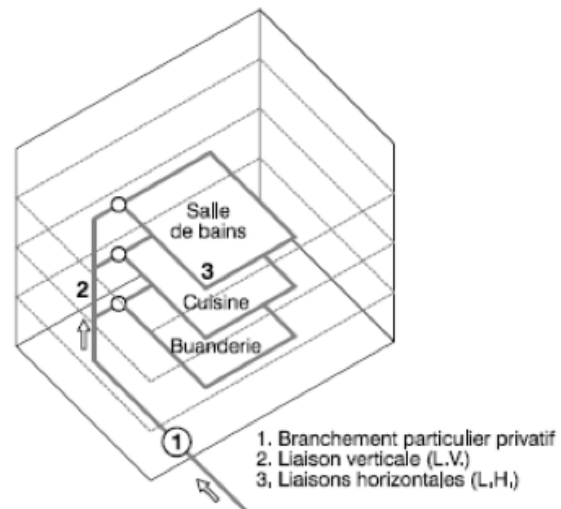
XI.8) La distribution dans le bâtiment

Distribution de l'eau dans les installations individuelles

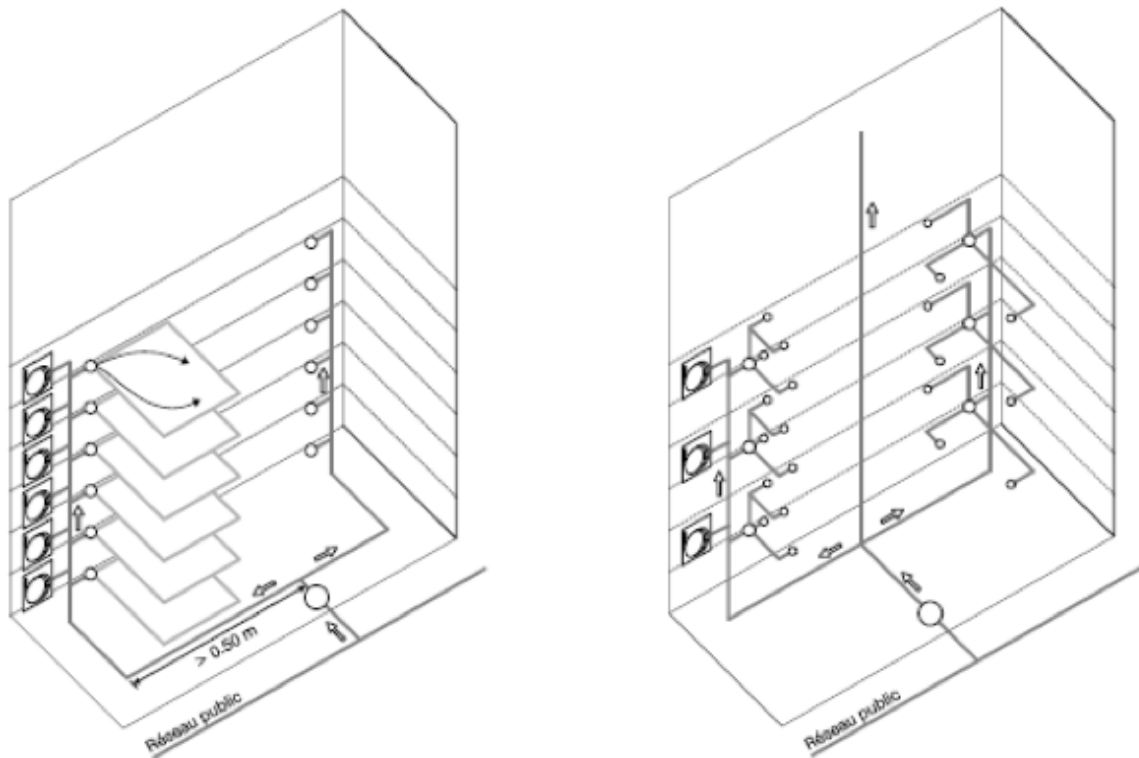
Avec un ensemble de liaisons horizontales.



Avec une liaison verticale et plusieurs ensembles de liaisons horizontales



Distribution de l'eau dans les installations collectives



XI.9) Canalisations

Matériaux :

- Cuivre
- Acier
- PVC

Dimensions usuelles (diamètre intérieur/extérieur) :

Equipement	Débit (l/s)	Alimentation	Evacuation
Lavabo, réservoir de chasse	0,1	10x12	30x32
Evier	0,2	12x14	30x32
Douche	0,25	14x16 ou 16x18	38x40
Baignoire	0,35	14x16 ou 16x18	38x40

Pour l'installation, il faut éviter :

- Coudes : pertes de charges, acoustique
- Raccordement nombreux : risque de fuite
- Risque de stagnation : pente faible, débit faible...

XI.10) Réseau d'évacuation

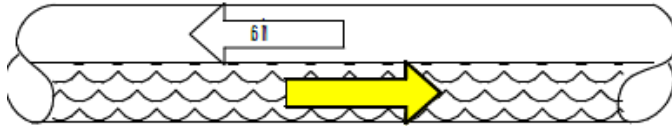
Les eaux usées (EU) provenant des toilettes, urinoirs, lavabos, éviers, baignoires...

On distingue :

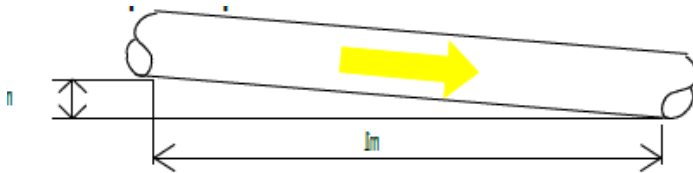
- les eaux grises : ne contiennent pas de matières fécales
- les eaux noires : contiennent des matières fécales
- les eaux pluviales (EP).

Quelques propriétés du réseau d'évacuation :

- Canalisations à moitié pleines et ventilation

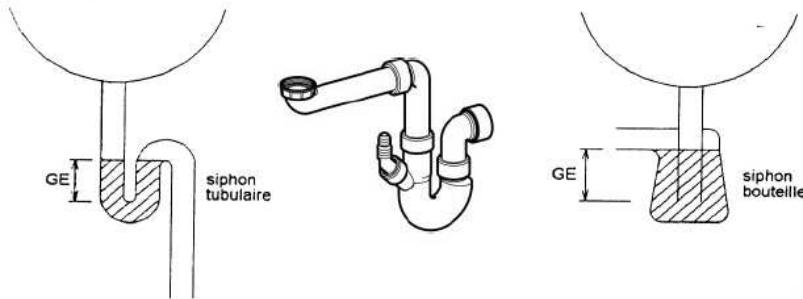


- Canalisations en pente pour évacuer correctement



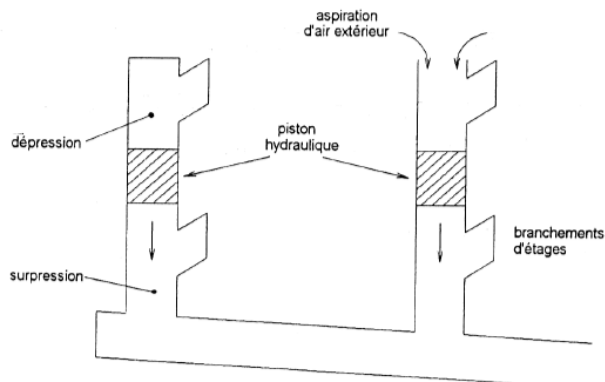
Tous les appareils sanitaires doivent être munis d'un siphon placé directement à la sortie de l'écoulement de l'appareil.

- Fonction : empêche remonté d'odeurs
- Garde d'eau minimale : 5cm.

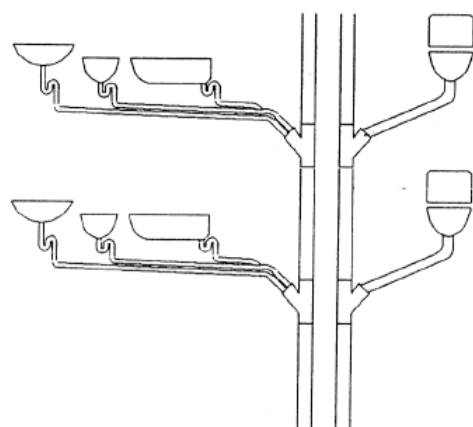


Les ventilations ont pour fonction :

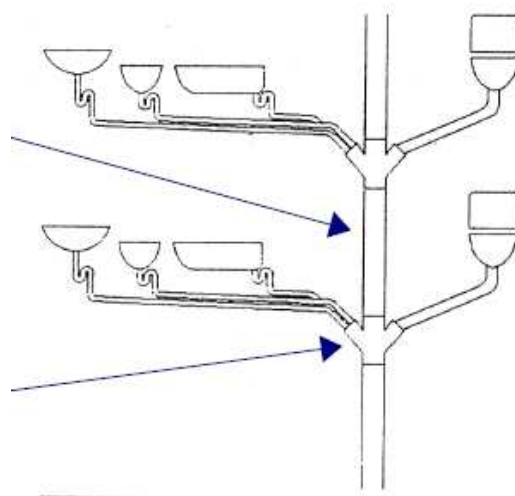
- Aérer le réseau d'évacuation,
- Permettre le bon fonctionnement des siphons.



Colonne d'eau :
Colonnes de chute séparées
(Système IV)



Colonne de chute unique
(Système I)



Débit moyen d'eau usées d'un appareil sanitaire exprimé en litres par seconde

DIAMETRE DE RACCORDEMENT DES APPAREILS SANITAIRES (NF DTU 60.11 - 2013)					
Désignation de l'appareil	Débit unitaire	Ø int. (minimal)	EVACUATIONS		
			P.V.C. Ø réel	CUIVRE Ø réel	FONTE (DN)
Appareils sanitaires (Unité type EV)					
- WC 6 ou 7,5 l réservoir de chasse	2,00 l/s	73 mm	80	---	75
- WC 9 l réservoir de chasse	2,50 l/s	83 mm	84/90	---	100
- WC + robinet de chasse (Non indiqué DTU)	2,00 l/s	83 mm	84/90	---	100
Appareils sanitaires (Unité type EU)					
- Groupe de sécurité		25 mm	25,6/32	26/28	---
- Evier - timbre office	0,50 l/s	33 mm	33,6/40	34/36	50
- Lave-linge jusqu'à 6 kg	0,50 l/s	33 mm	33,6/40	34/36	50
- Lave-linge jusqu'à 12 kg	1,00 l/s	43 mm	43,6/50	52/54	50
- Lave-vaisselle (domestique)	0,50 l/s	33 mm	33,6/40	34/36	50
- Lavabo, lave-mains	0,30 l/s	25 mm	25,6/32	26/28	---
- Bidet	0,30 l/s	25 mm	25,6/32	26/28	---
- Baignoire (Longueur d'évacuation < 1 m)	0,50 l/s	33 mm	33,6/40	40/42	50
- Baignoire (Longueur d'évacuation < 1 m)	0,50 l/s	38 mm	43,6/50	40/42	50
- Douche à bouchon	0,50 l/s	33 mm	33,6/40	34/36	50
- Douche à grille fixe	0,40 l/s	33 mm	33,6/40	34/36	50
- Urinoir à action siphonique (chasse d'eau)	0,50 l/s	33 mm	33,6/40	34/36	50
- Urinoir avec vanne de rinçage	0,30 l/s	25 mm	25,6/32	26/28	---
- Urinoir rigole (Par personne)	0,20 l/s				
- Lavabo collectif (0,05 l/s par jet) - (Non indiqué DTU)	0,05 l/s				
- Bac à laver	0,80 l/s	43 mm	43,6/50	52/54	50
- Grille de sol DN50	0,60 l/s	43 mm	43,6/50	52/54	50
- Grille de sol DN75	1,00 l/s				75
- Grille de sol DN100	1,30 l/s	83 mm	84/90	---	100

Débit des eaux usées : Q_{ww}

Q_{ww} est le débit probable d'un tronçon, sur lequel des appareils domestiques sanitaires sont raccordés.

$$Q_{ww} = K \cdot \sqrt{\Sigma DU} \text{ (l/s)}$$

Type d'utilisation	Coefficient K
Utilisation irrégulière, par exemple maison d'habitation, auberge, bureau	0,5
Utilisation régulière, par exemple hôpital, restaurant, hôtel	0,7
Utilisation fréquente, par exemple toilettes et douches publiques	1,0
Utilisation spéciale, par exemple laboratoire	1,2

Types de collecteur :

- Collecteur Principal : Canalisation d'allure horizontale collectant les différents tuyaux et chutes d'un bâtiment, pour les conduire à l'égout public.
- Système séparatif : On parle de système séparatif lorsqu'il existe un réseau d'évacuation des eaux usées et sous certaines réserves de certains effluents industriels, alors que l'évacuation de toutes les eaux pluviales est assurée par un autre réseau.
- Système unitaire : L'évacuation de l'ensemble des eaux usées et pluviales est assurée par un seul réseau, généralement pourvu de déversoirs permettant en cas d'orage, le rejet direct, par surverse, d'une partie des eaux dans le milieu naturel.

XI.11) ECS

Production, sources d'énergie :

- Gaz (naturelle, butane, propane...)
- Electricité
- Solaire thermique (Chauffe-eau mixte)
- Chauffage bois
- Préchauffage par récupération de chaleur

Nombreuses réglementations et normes :

- Chauffe-eau non instantané : NF EN 60335-2-21 et NF EN 60379
- Chauffe-eau instantané : NF EN 60335-2-35
- Chauffe-eau électrique à compression : NF EN 255-3
- Chauffe-eau mixte : C73-255

Critères pour chauffe-eau:

- Rendement : énergie apportée à l'eau/énergie absorbée
- Sensibilité du thermostat : écart entre température de déclenchement et d'enclenchement
- Facteur de mélange : rapport entre volume d'eau obtenue par débordement et celle obtenue par vidange
- Constante de refroidissement : énergie consommée en 24 h pour 1 l et pour 1°C entre eau contenue et ambiance
- Capacité de stockage
- Temps de chauffage d'un litre d'eau
- Bruit

Production, quelques recommandations :

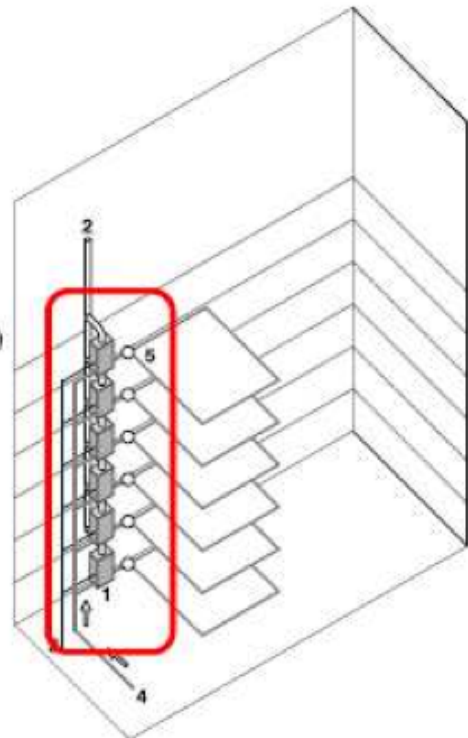
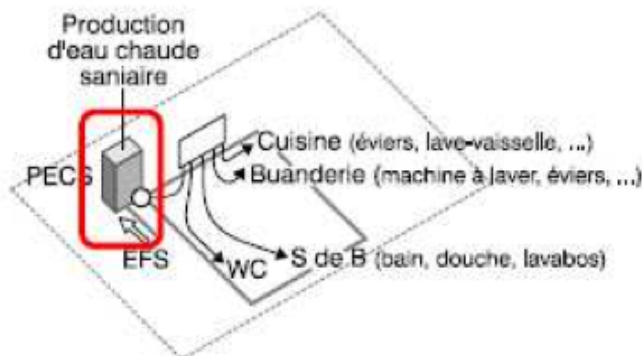
- Eviter les productions à moins de 55°C :
- En cas de récupération d'énergie (solaire, condensats de fumée...), privilégier des solutions stockant l'énergie dans un eau non sanitaire et transférant l'énergie à l'ECS par échange instantané
- Privilégier la recirculation (homogénéisation) des ballons
- Pas de mitigeage en tête à moins de 50°C
- Prévoir la possibilité de vidanger, nettoyer complètement l'installation (vanne, mise à l'égout)
- Equiper la production d'outils de contrôle (manomètres, thermomètres) en départ et retour de collecteur

Production :

- Instantanée
- Instantanée avec stockage
- Semi-Accumulation
- Accumulation

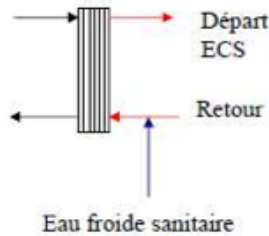
Mode de production instantané :

- Aucune réserve d'eau chaude sanitaire
- Puissance suffisante pour absorber les débits de pointe sur 10 minutes
- Toute l'eau froide est réchauffée au moment où elle est soutirée



Primaire =
fluide à haute
température
(85-95°C)

Secondaire =
fluide ECS

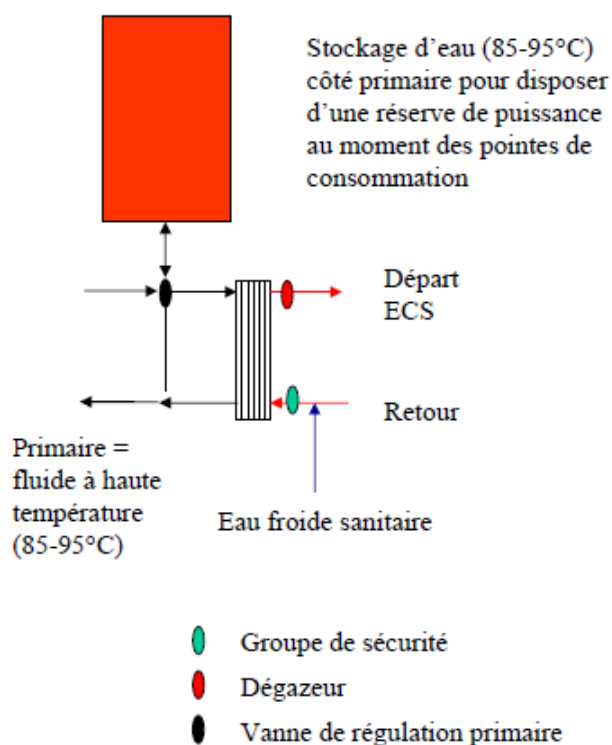


Échangeur à plaque



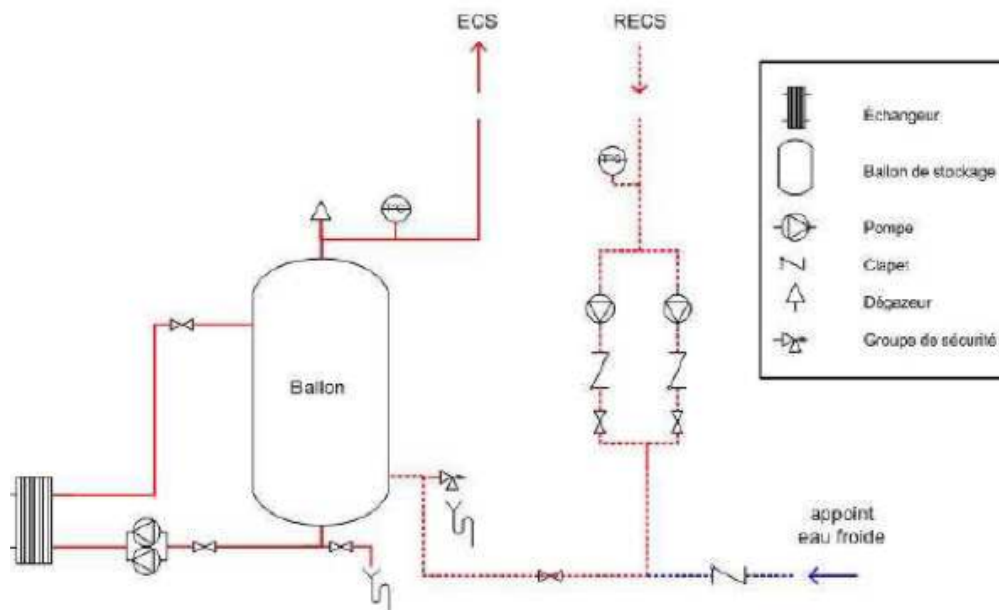
Échangeur tubulaire

Mode de production instantané avec stockage :



Mode de production semi-instantané :

- La puissance d'échange est élevée mais ne permet de garantir une température suffisante en période de pointe
- Le volume stocké permet de maintenir une température de production stable pendant les pointes de consommation
- Le volume stocké est relativement faible



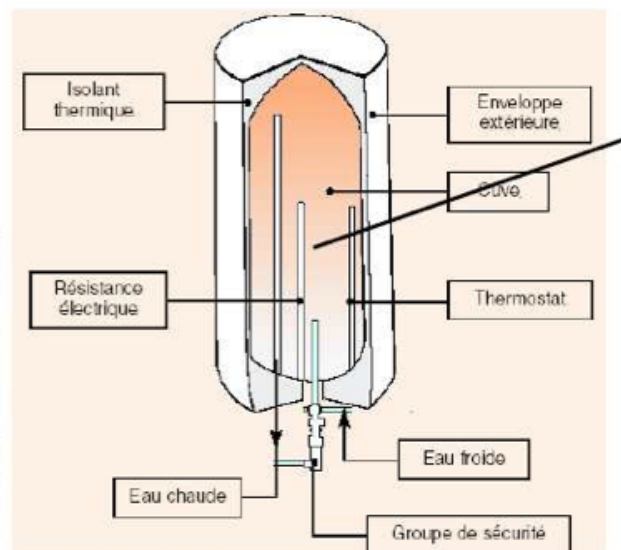
Mode de production par semi-accumulation :

- Le stockage est important couvre les pointes sur 10 minutes et les consommations sur 1 à 2 heures
- Puissance suffisante pour réchauffer le stockage entre 2 pointes de consommation

Mode de production par accumulation :

- La réserve d'eau chaude sanitaire couvre la totalité des consommations journalières
- Puissance permet de reconstituer la réserve d'eau en 6 à 8 heures (ne présente un intérêt que pour les accumulateurs fonctionnant en heures creuses)

Accumulation



XII) Domotique

La **domotique**, du latin «domus» signifiant maison, est l'ensemble des technologies de l'électronique, de l'information et des télécommunications permettant d'automatiser des bâtiments individuels ou collectifs.

Plusieurs notions désignant plus ou moins la même chose :

- Domotique
- Bâtiment intelligent
- Bâtiment communicant ou connecté

La domotique, selon le cabinet d'étude Xerfi, aurait ainsi représenté un chiffre d'affaire de 250 à 450 millions d'euros en 2014, dont seulement 150 millions seraient attribuables à la vente directe d'objets connectés et 100 à 300 millions pour l'installation. La croissance de la domotique serait 'seulement' de 20% par an jusqu'en 2017, les plus optimistes espèrent 200%.

Appareils connectés :

Appareils capables de communiquer entre eux. Peut passer par un réseau ou communiquer directement ; Il existe tout type de technologie (filaire, par le courant électrique, par wifi, par onde radio, etc.)

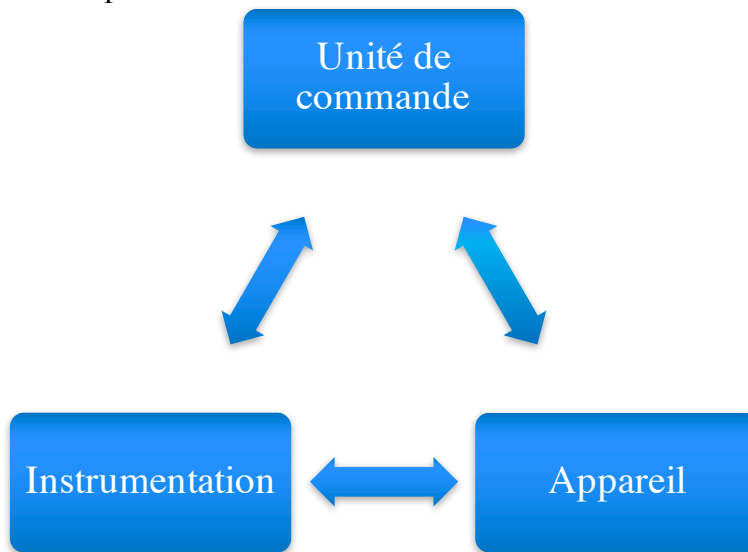
Appareils intelligents :

Appareils disposant d'une 'intelligence artificielle' lui permettant d'être (partiellement ou totalement) autonome.

Les principaux domaines dans lesquels s'appliquent les techniques de la domotique sont :

- le **pilotage des appareils** « électrodomestiques », électroménagers par programmation d'horaires et/ou de macro définis par l'utilisateur. Le déclenchement des appareils peut être aussi lié à des événements (détecteurs de mouvement, télécommandes, etc.) ;
- la **gestion de l'énergie**, du chauffage en fonction de l'enveloppe thermique du bâtiment, de la climatisation, de la ventilation, de l'éclairage, de l'ouverture et de la fermeture des volets de l'eau...
- la **sécurité des biens et des personnes** (alarmes, détecteur de mouvement, interphone...)
- la **communication entre appareil et utilisateur** par le biais de la « sonification » (émission de signaux sous forme sonore) ;
- le « **confort acoustique** ». Il peut provenir de l'installation d'un ensemble de haut-parleurs permettant de répartir le son et de réguler l'intensité sonore ;
- la **compensation des situations de handicap et de dépendance**.

Trois composants :



Quelques points de discussion :

- Aspect énergétique et environnemental
- Une évolution logique ?
- Quelle influence pour les professionnels de la construction ?

Chapitre 3 : Approche organisationnelle

I) Introduction

Quelques éléments d'organisation :

- Lien avec le gros-œuvre
- Interactions entre corps d'état – parfois délicates
- Entreprises différentes, métiers différents, cultures différentes
- Espace réduit – gêne
- Ils finissent le chantier : victime du retard des CE précédents

II) Lots techniques

Décomposition d'un chantier en lots techniques

Exemple 1 :

- Lot 1 : Gros œuvre – Démolition – Enduit
- Lot 2 : Charpente – Menuiserie bois
- Lot 3 : Couverture – Zinguerie
- Lot 4 : Menuiserie extérieure aluminium
- Lot 5 : Plâtrerie – Faux plafonds – Isolation
- Lot 6 : Revêtement de sol scellé - collé - faïence
- Lot 7 : Peinture
- Lot 8 : Electricité – VMC – Chauffage
- Lot 9 : Plomberie – Sanitaire
- Lot 10 : Architecture textile

Exemple 2 :

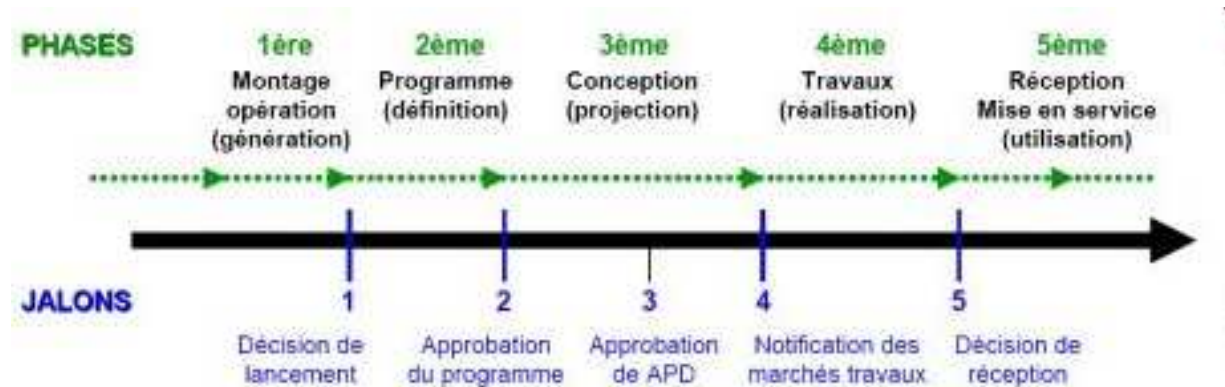
- Lot 1 : VRD
- Lot 2 : Gros-œuvre
- Lot 3 : Etanchéité
- Lot 4 : Menuiseries extérieures
- Lot 5 : Menuiseries intérieures
- Lot 6 : Cloisons- doublages
- Lot 7 : Electricité courants forts et faibles- Chauffage électrique
- Lot 8 : Plomberie sanitaire- VMC
- Lot 9 : Chauffage gaz
- Lot 10 : Ravalement
- Lot 11 : Métallerie
- Lot 12 : Peinture- revêtements muraux
- Lot 13 : Revêtements de sols scellés
- Lot 14 : Revêtements de sols collés
- Lot 15 : Ascenseur
- Lot 16 : Nettoyage

On peut regrouper les corps d'état en 4 groupes correspondant aux 4 phases principales des travaux :

- les travaux préliminaires : démolitions, terrassements généraux, fondations profondes, voiries et réseaux divers (VRD)
- le clos couvert : gros œuvre, maçonnerie, charpente et couverture, menuiseries extérieures, étanchéité...
- les corps d'état architecturaux : structures métalliques, cloisons, menuiseries intérieures, faux plafonds, revêtements (peinture, carrelage...)
- les corps d'état techniques : plomberie, sanitaire, électricité courants faibles ou forts, chauffage – ventilation – climatisation (CVC), sécurité, ascenseurs...

III) Découpage temporel

Temporellement, on peut décomposer le chantier en différentes phases :



La phase montage :

- initialisation de l'opération
- identification et définition du problème à résoudre
- analyses de la faisabilité des différents scénarios possibles

La phase programme :

- formalisation du problème à travers le programme de l'opération (loi MOP) qui servira de base au choix du maître d'œuvre
- arrivée dans le projet de nouveaux acteurs, bureaux d'études, programmeur, utilisateurs.

La phase conception :

- choix et élaboration de la réponse au problème par le maître d'œuvre.
- arrivée dans le projet des principaux prestataires : maître d'œuvre, contrôleur technique, CSPS...

La phase travaux :

- mise en œuvre de la solution retenue par le maître de l'ouvrage.
- arrivée des entreprises dans le projet.

La phase réception mise en service :

- fin de la réalisation de l'opération et l'acceptation du résultat par le Maître de l'ouvrage.
- transmission du bâtiment aux nouveaux acteurs que sont les utilisateurs et les exploitants.

IV) Phase travaux

Phase de travaux :

- Choix des entreprises
- Phase de préparation
- Mise en concordance des entreprises Travaux
- Suivi et contrôle
- Livraison

Choix d'une entreprise de corps d'état :

Un corps d'état est généralement retenu dès lors que son devis est le moins disant.

Mais il faut vérifier :

- a-il les compétences techniques pour assurer la qualité de l'ouvrage ?
- a-t-il le personnel pour faire le chantier ?
- son carnet de commandes n'est-il pas trop plein ?
- pourra-t-il tenir ses engagements ? Si un seul corps d'état ne peut tenir ses délais, l'ensemble du chantier sera désorganisé par ses retards.
- Risque de sous-traitances en cascade

V) Phase de préparation

Le maître d'œuvre, les bureaux d'études techniques et les entreprises, établissent, à partir des plans architecturaux, les plans d'exécution pour chaque corps d'état. Par exemple, le titulaire du lot CVC (Chauffage, ventilation, climatisation) définit les dimensions de ses gaines de ventilation en fonction des débits d'air prévus pour chaque pièce. Chaque lot travaillant généralement de son côté, il est nécessaire ensuite d'harmoniser tous ces plans. Par exemple, la hauteur libre au-dessus des faux plafonds doit permettre le passage des gaines de ventilation, des chemins de câbles, des réseaux d'eau chaude et froide...

C'est un travail qui est souvent très complexe : il peut être source de litiges, car les intérêts sont fréquemment divergents. Pourquoi une société de plomberie accepterait-elle une modification (même peu onéreuse) de ses plans, alors que son contrat prévoit un paiement forfaitaire, fixe, et que son surcoût ne lui sera pas payé ?

Ce travail d'harmonisation peut être réalisé par un groupe de techniciens, détachés de chaque entreprise, qui se réunissent pour résoudre les conflits spatiaux et supprimer les incohérences. On parle de « cellule de synthèse ».

La direction de la cellule de synthèse est exercée normalement par l'entreprise générale, ou par le maître d'œuvre. Ce travail est devenu plus aisé grâce aux BIM (Building Information Modeling ou encore Modèle d'information unique du bâtiment). C'est un processus de production et la gestion des données de construction tout au long de la conception d'un bâtiment.

Pendant la période de préparation sont à mettre au point 4 documents principaux :

- Plan des installations de chantier
- Plan d'installation des grues
- Plan de rotation des banches
- Plan de phasage

Il y a lieu, lors de la période de préparation, que les organisations de tous les corps d'état soient rendues compatibles. Il faut une :

- harmonisation des plannings
- harmonisation des moyens nécessaires aux travaux (zones de stockage, moyens de levage, électricité...).

Lors de la rédaction des différents contrats, le directeur de l'entreprise principale, ou le maître d'œuvre, procèdera à cette harmonisation.

VI) Planning

L'idée directrice est qu'il faut que les différents intervenants (les ouvriers sur le chantier) ne se gênent pas. Il faut prévoir des interventions décalées dans le temps et dans l'espace, pièce par pièce et éviter les retours en arrière d'une équipe. Par exemple, le plâtrier doit finir complètement une pièce avant de la quitter pour laisser la place au plombier. Certains corps d'état empêchent toute circulation (exemple : mise en place des revêtements de sol). L'organisation idéale serait que tous les corps d'état se suivent dans la même pièce, les uns après les autres, et, qu'une fois partis ils n'aient plus à revenir.

Les interfaces sont nombreuses, les intervenants l'étant également. On peut distinguer :

- interfaces techniques
- interfaces de planning.

Les interfaces techniques sont dues aux limites de prestation de chaque intervenant. Une attention particulière doit être portée à une interface : les réservations dans le gros œuvre qui servent de passage aux réseaux. Il est recommandé de procéder à des réservations communes aux différents réseaux (un seul trou large où l'on fait passer tous les réseaux). Il y a aussi des interfaces dues aux intervenants extérieurs (EDF, réseaux d'eaux de la ville...)

Les interfaces de planning se produisent dès qu'un retard chez un intervenant apparaît, retard qui se répercute sur les autres intervenants. Toute accélération d'un intervenant, pour compenser un retard, peut se traduire par un excès de coactivité, une suractivité préjudiciable à la sécurité, ce qui peut empêcher la compensation de ce retard.

La formalisation des plannings peut se faire selon de nombreuses méthodes, par exemple PERT ou Planning GANT.

VII) Aspects financiers

Les aspects financiers couvrent :

- Coûts d'étude
- Coûts d'exécution
- Dépenses communes
- Frais additionnels
- Gains

Dépenses communes : Certaines dépenses communes, comme le nettoyage du chantier, l'éclairage dans les zones de circulation, ou le préchauffage des bâtiments, sont gérées via un compte, dit « compte-prorata », aux frais des entreprises intervenantes (par un prélèvement pouvant atteindre 2 % du montant de leurs travaux). Ce compte est généralement tenu par une des entreprises dans le cadre d'une convention inter-entreprises imposée par les contrats respectifs de chaque entreprise. Inconvénients : ce mode de gestion peut déresponsabiliser et être source de dépenses excessives et de conflits.

Autres systèmes : en donner la charge à des entreprises par contre (contre rémunération).

Par exemple :

- l'éclairage des zones de circulation sera une obligation de l'électricien ;
- le préchauffage sera demandé à l'entreprise de peinture.

Intéressée à respecter ses obligations au meilleur coût, l'entreprise en charge évitera les dépenses inutiles...

VIII) Aléas et imprévus

La plupart des aléas et imprévus d'un chantier de bâtiment apparaissent pendant la phase des travaux de terrassement et de fondations, et le début du gros œuvre. Mais aussi ils sont aussi présents pour le second œuvre. De plus, les problèmes sur le gros-œuvre peuvent avoir des répercussions sur les autres corps d'état. Il faut prévoir sur le planning et le budget, des marges pour compenser les imprévus.

Exemple d'imprévus :

- intempéries
- exigences non prévues des riverains...
- mise en place d'une nouvelle réglementation
- évolution des équipements
- accident sur le chantier
- le dépôt de bilan d'une entreprise
- ...

Le grand nombre d'intervenants sur les chantiers de bâtiments augmente le risque que l'un d'entre eux disparaisse pendant le chantier et perturbe tous les autres. Ce n'est que si le marché de cet intervenant défaillant comporte des prix normaux qu'il pourra être rapidement remplacé.

IX) Sécurité, qualité et environnement

Les entreprises peuvent être certifiées :

- ISO 9000 : système de management de la qualité
- BS 8800 : système de management de la sécurité et de la santé au travail
- ISO 14000 : management environnemental

Sécurité :

- Accidents fréquents sur chantier
- Chaque corps d'état a pour mission de réduire les accidents dus à son propre métier

Le Coordonnateur de sécurité et de la protection de la santé (CSPS) désigné dès l'avant projet sommaire par le maître d'ouvrage a pour mission, tout au long du chantier, de prévenir les risques résultant des interventions simultanées ou successives des différentes entreprises ou équipes. Mais les entreprises restent responsables de leurs employés.

Qualité :

Plusieurs problèmes se posent pour la qualité des CES :

- Problèmes d'harmonisation des différentes normes
- Problème d'interfaces techniques
- Problème de succession

Problèmes d'harmonisation des différentes normes : par exemple, un fournisseur de fenêtres allemand respecte les normes DIN de tolérance, qui ne sont pas les mêmes que celles de la norme AFNOR du maçon. On peut donc se trouver en face de difficultés de mise en place des châssis de fenêtres, alors que le maçon a travaillé correctement.

Problème d'interfaces techniques : Afin de les prévenir, il peut être intéressant de prévoir qu'une des premières pièces du bâtiment serve de référence, permettant aux intervenants « en aval » de donner leurs observations, dès le début des travaux, aux intervenants « en amont ». Par exemple, un mur en béton d'essai sera réalisé de façon à ce que le peintre, qui devra faire les enduits puisse faire ses observations sur le bullage ou les balèvres (légères saillies) de ce mur, et ce alors que peu de murs auront été coulés.

Problème de succession : par exemple la détérioration d'une étanchéité par les travaux du lot CVC.

Environnement :

Il faudra veiller aux éléments suivants :

- Gestion des déchets
- Consommation énergétique
- Consommation d'eau
- Pollution
- Nuisance aux riverains

Pour suivre ces postes, on a des indicateurs :

- Sécurité : taux de fréquence et taux de gravité des accidents
- Qualité : nombre de non-conformités
- Environnement : moins défini ; certains sont demandés par le client, d'autres sont librement choisis par les entreprises.

X) Logistique

Logistique : activité qui a pour objet de gérer les flux physiques, c'est-à-dire l'approvisionnement à pied d'œuvre des dizaines, voire centaines de milliers d'éléments qui constituent un bâtiment. Après les phases d'évacuation de déblais/démolition, ces flux sont essentiellement à sens unique, des fournisseurs vers le chantier, et en trois dimensions (y compris vers le haut).

Pour assurer cette logistique, des moyens et des matériels sont nécessaires.

- Sur les petits chantiers : chaque entreprise intervenante veille à ses approvisionnements en s'assurant d'une zone de stockage, au pied du bâtiment, et de la possibilité d'utiliser les moyens de manutention montés par l'entreprise de gros œuvre.
- Sur les grands chantiers : une organisation spécifique doit être mise en place pour gérer tous les flux et éviter « l'asphyxie » du chantier

XI) Livraison

Livraison :

La livraison d'un bâtiment à ses futurs occupants est précédée de la réception. L'organisation du chantier doit tenir compte du fait que la réception est généralement globale. Par exemple, l'entreprise qui a réalisé la plomberie, pour voir réceptionner ses travaux, que l'ensemble du bâtiment soit terminé (que les moquettes soient posées par exemple...).

Les conséquences peuvent être considérables pour les intervenants. Par exemple, après la fin de l'étanchéité, plusieurs mois peuvent se passer, et l'étanchéité peut être percée par les intervenants ultérieurs, tels que l'entreprise de CVC s'occupant de la toiture.

Chaque corps d'état doit s'organiser pour veiller à la protection de ses réalisations, entre la fin de ses travaux et la réception. À défaut, des litiges auront lieu.

Réception :

À partir de l'ensemble des plans d'exécution de tous les corps d'état, on établit des fiches récapitulatives pièces par pièces. Une fiche décrit l'intégralité de tous les équipements d'une pièce. Il faut alors vérifier la conformité des différents éléments Il faut vérifier aussi les réseaux (électricité, plomberie...) par secteur, puis globalement.

Toutes les entreprises doivent ensuite procéder à la levée des réserves. Une approche systématique, rigoureuse est indispensable pour lever ces réserves rapidement, et au meilleur cout. Cela peut être sources de litiges du fait des interactions entre corps d'état...

A la livraison, les entreprises donnent une garantie de parfait achèvement et une garantie décennale. Les entreprises de bâtiment (gros-œuvre ou CES) doivent être assurées pour la garantie décennale (loi de 1978, modifiée par ordonnance du 8 juin 2005).