

# Appareils électriques

Professions de l'électricité

Denis Schneider

## Note d'auteur

Cet ouvrage est avant tout destiné aux apprenti(e)s installateurs-électriciens/nes. Dans cette édition, j'ai reconsidéré le contenu en fonction de la nouvelle ordonnance. Certains chapitres ont disparu et les autres ont été complétés.

Ce manuel doit être évolutif, la norme et les appareils évoluant eux-mêmes au rythme des améliorations de la technique et de l'appareillage, d'une meilleure connaissance des causes d'accidents et de la tendance toujours plus importante et bienvenue à la normalisation internationale.

Le présent ouvrage n'est pas une liste exhaustive du matériel existant, mais simplement quelques exemples choisis et expliqués en fonction de la pratique professionnelle des installateurs – électriciens.

Je remercie tout particulièrement mes collègues qui ont lu et corrigé ce manuel ou permis d'y apporter des améliorations, ceux qui ont aidé à l'élaboration des questionnaires et la direction de l'école qui a accepté qu'une mise à jour se fasse.

Je remercie également, pour avoir mis gracieusement à disposition de la documentation et des photos, les entreprises suivantes :



Sans oublier également quelques photographes anonymes pour leurs œuvres mises à disposition par leur site Internet, le site [www.installations-electriques.net](http://www.installations-electriques.net) et mes excuses à tous les oubliés.

*Denis Schneider*



2e Edition

© CREME, 2018

CREME Commission romande d'évaluation des moyens d'enseignement

Faubourg de l'Hôpital 68 • Case postale 556 • CH-2002 Neuchâtel

CONFÉRENCE INTERCANTONALE  
DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE DE  
LA SUISSE ROMANDE ET DU TESSIN

CATARO 086071

ISBN 978-2-88500-793-0

Toute reproduction, même partielle, de cet ouvrage par quelque procédé que ce soit, notamment par photocopie ou informatique (scan), est interdite sans autorisation écrite de l'éditeur. Les copieurs et plagiaires seront poursuivis.

## Table des matières

<b>Note d'auteur</b> .....	2	2.2.1 Les plaques de cuisson massives à deux ou trois corps de chauffe commandées par un commutateur.....	29
<b>1. CHAUFFAGE ÉLECTRIQUE</b> .....	7	2.2.2 Plaques rapides.....	30
1.1 Principes de base du chauffage.....	7	2.2.3 Les plaques de cuisson commandées par thermostat.....	30
1.1.1 Les systèmes de chauffage électrique...	7	2.2.4 Les plaques de cuisson commandées par un régulateur d'énergie.....	31
1.2 Le chauffage direct.....	7	2.3 Les corps de chauffe rayonnants pour plan de cuisson vitrocéramique.....	31
1.2.1 Les convecteurs muraux.....	8	2.3.1 Réglage de la puissance.....	32
1.2.2 Les convecteurs de sol.....	8	2.3.2 Les organes chauffants.....	33
1.2.3 Les plinthes chauffantes.....	9	2.4 Les plaques à induction.....	34
1.2.4 Les parois chauffantes.....	9	2.5 Les fours.....	34
1.2.5 Les radiateurs sèche-linge.....	10	2.6 Raccordement des cuisinières.....	36
1.2.6 Les radiateurs « instantanés ».....	10	2.7 Les fours à micro-ondes.....	37
1.2.7 Les radiateurs infrarouges.....	10	2.7.1 Principe de fonctionnement.....	37
1.2.8 Les radiateurs de bancs.....	11	2.9 Questionnaire.....	38
1.2.9 Rentabilité du chauffage direct.....	12	<b>3. CHAUFFE-EAU ÉLECTRIQUES</b> .....	41
1.3 Chauffage par accumulation.....	12	3.1 Généralités.....	41
1.3.1 Les accumulateurs statiques.....	12	3.2 Construction.....	41
1.3.2 Les accumulateurs dynamiques.....	13	3.3 Le thermostat plongeur.....	42
1.4. Accumulateurs électriques pour chauffages centraux.....	14	3.4 Les chauffe-eau à écoulement libre.....	43
1.4.1 Les accumulateurs à eau.....	14	3.5 Les chauffe-eau raccordés sous pression.....	44
1.4.2 Les accumulateurs à matière solide.....	15	3.6 Les automates à eau chaude.....	46
1.5 Systèmes de chauffage à câbles.....	16	3.6.1 Principe de fonctionnement.....	46
1.5.1 Câbles chauffants.....	16	3.7 Les chauffe-eau à pompe à chaleur.....	47
1.5.2 Le chauffage de sol.....	17	3.8 Les chauffe-eau solaires.....	48
1.5.3 Chauffage de sol à « nattes millimètre ».....	20	3.9 Les chauffe-eau instantanés.....	48
1.5.4 Chauffage électrique extérieur.....	20	3.10 Questionnaires.....	49
1.6 Commandes.....	22	<b>4. RÉFRIGÉRATEURS</b> .....	53
1.6.1 Désignation des fils pilotes.....	22	4.1 Généralités.....	53
1.6.2 Régulation et commande.....	22	4.2 Les réfrigérateurs à compresseur.....	53
1.7 Dimensionnement.....	22	4.3 Les réfrigérateurs à absorption.....	54
1.7.1 Principes du bilan thermique.....	22	4.4 Principales caractéristiques.....	55
1.7.2 Source de chaleur étrangère.....	23	4.5 Les réfrigérateurs thermoélectriques.....	56
1.7.3 Apports passifs.....	23	4.6 Givre et variation du taux d'humidité dans l'air..	56
1.7.4 Source de chaleur étrangère.....	24	4.6.1 Généralités.....	56
1.8 Récupération calorifique.....	24	4.7 Questionnaire.....	58
1.9 Questionnaire.....	25		
<b>2. CUISINIÈRES ÉLECTRIQUES</b> .....	29		
2.1 Généralités.....	29		
2.2 Les plaques cuisson massives.....	29		

<b>5. FILTRES RÉSEAU</b> .....	59	10.2.3 Les culots .....	85
5.1 Filtre de télécommande .....	59	10.2.4 Influence de la tension .....	86
<b>6. ALIMENTATIONS STABILISÉES</b> .....	61	10.2.5 Caractéristiques des ampoules .....	86
6.1 L'alimentation stabilisée pour ordinateur .....	61	10.3 Les lampes Halogènes .....	84
6.2 L'onduleur pour les installations de production ..	62	10.3.1 Principe de fonctionnement .....	87
6.2.1 Différentes façons de raccorder des onduleurs d'installations de production .....	63	10.3.2 Avantages des lampes halogènes .....	87
6.3 Questionnaire .....	67	10.3.3 Installation des lampes halogènes basse tension.....	89
<b>7. POMPES À CHALEUR</b> .....	69	10.3.4 Les transformateurs.....	89
7.1 Principe de fonctionnement .....	69	10.3.5 La régulation des lampes halogènes .....	90
7.2 Types de pompes à chaleur .....	70	10.3.6 Principales lampes halogènes.....	91
7.2.1 Pompes à chaleur eau/eau .....	70	10.4 Les lampes à décharge .....	92
7.2.2 Pompes à chaleur saumure/eau .....	71	10.4.1 Principe de fonctionnement.....	92
7.2.3 Pompes à chaleur air/eau .....	71	10.4.2 Lampes à vapeur de sodium .....	92
7.2.4 Pompes à chaleur air/air .....	72	10.4.3 Les lampes à lueur cathodique .....	93
7.3 Modes de fonctionnement .....	73	10.4.4 Les lampes à cathodes froides .....	93
7.4 Coefficient performance .....	74	10.4.5 Les lampes à vapeur de mercure.....	93
7.5 Economie d'énergie .....	74	10.5 Les LED (DEL).....	98
7.6 Questionnaire .....	75	10.5.1 Généralités.....	98
<b>8. MESURE PAR TRANSFORMATEUR D'INTENSITÉ TI</b> .....	77	10.5.2 Commande des lampes LED.....	99
8.1 Questionnaire .....	78	10.5.3 Exemples de lampes LED .....	99
<b>9. LABEL ÉNERGIE ET STANDARD MINERGIE</b> .....	79	10.6 Symboles utilisés pour les ampoules .....	100
9.1 Standard Minergie .....	80	10.7 Questionnaire .....	101
9.1.1 Ventilation .....	81	<b>11. TECHNIQUE D'ÉCLAIRAGE</b> .....	105
9.1.2 Eclairage .....	81	11.1 Définitions et calculs .....	105
9.1.3 Appareil .....	81	11.2 Conditions d'un bon éclairage.....	105
9.2 Questionnaire .....	82	11.2.1 Valeurs recommandées.....	105
<b>10. SOURCES LUMINEUSES</b> .....	83	11.3 Mesure de l'éclairement .....	106
10.1 Classification .....	83	11.4 Lecture de graphiques .....	107
10.1.1 Label énergie .....	84	11.4.1 Diagramme polaire pour luminaires .....	107
10.1.2 Utilisation rationnelle de l'énergie électrique .....	84	11.4.2 Graphique photométrique pour spots .....	107
10.2 Les lampes à incandescences .....	85	11.5 Questionnaire .....	108
10.2.1 Généralités .....	85	<b>12. APPAREILS DE MESURES</b> .....	111
10.2.2 Construction et principe de fonctionnement .....	85	12.1 But de la mesure .....	111
		12.2 La mesure.....	111
		12.2.1 Exercices « appareils de mesure » .....	112
		12.3 Précision des appareils de mesure.....	113
		12.3.1 Appareils de mesure numériques (AMN) .....	113
		12.3.2 Précision des appareils de mesure analogiques (AMA).....	115

<b>13. KNX</b> .....	117
13.1 Notion de bus .....	117
13.2 Généralités .....	118
13.3 Installation .....	118
13.3.1 Le bus .....	118
13.3.2 Les symboles .....	119
13.4 Architecture .....	119
13.4.1 Lignes .....	120
13.4.2 Répéteurs .....	120
13.4.3 Zones .....	120
13.4.4 Dorsale .....	121
13.5 Adressage .....	121
13.5.1 Télégrammes .....	122
13.6 Questionnaire .....	123
<b>14. SCHÉMAS BLOCS</b> .....	125
14.1 Eléments des schémas blocs .....	125
14.1.1 Fonction de transfert .....	125
14.1.2 Sommateur .....	125
14.1.3 Comparateur / différenciateur simple ....	125
14.2 Systèmes bouclés .....	126
14.3 Exercices .....	126



## Chapitre 1

# CHAUFFAGE ÉLECTRIQUE

### 1.1 Principes de base du chauffage

Comme dans d'autres pays, le chauffage électrique des locaux est également répandu en Suisse. Cette tendance a été accélérée par la crise du pétrole et les hausses de prix consécutives du mazout ainsi que par les efforts visant à substituer l'électricité au mazout.

Pour des raisons de politique énergétique (moratoire sur les centrales nucléaires), certains distributeurs d'énergie sont devenus très restrictifs quant à l'autorisation d'installation de chauffages électriques directs ou à accumulation. Le seul qui est généralement encore autorisé sans restriction est le chauffage par pompe à chaleur.

Le chauffage électrique présente de nombreux avantages parmi lesquels on peut citer :

- mode de chauffage non polluant, ni pour l'air ni pour l'eau ;
- procure un confort exceptionnel ;
- absence de cheminée (place, investissement) ;
- pas de stockage de combustible, pas de citerne à mazout ;
- pratiquement pas d'entretien.

Avec l'accident de l'usine de Fukushima en 2010, la Confédération a pris la décision de sortir du nucléaire. Pour que cela soit possible, sans trop augmenter notre dépendance énergétique face aux autres pays, il faudra créer de nouvelles centrales et rentabiliser au mieux les installations existantes. Une solution envisagée pour diminuer la consommation d'énergie électrique est d'interdire l'utilisation du chauffage électrique (y compris des installations existantes) qui représentait en 2016 10 % de la consommation nationale et de faire mettre hors service les installations existantes alors même qu'il y a 20 ans on incitait les propriétaires à installer ce genre de chauffage.

#### 1.1.1 Les systèmes de chauffage électrique

On fait la distinction entre les systèmes de chauffage électrique suivant la période où ils absorbent l'énergie électrique et celle où ils restituent la chaleur.

Si les deux opérations ont lieu simultanément, on parle de chauffage direct. S'il y a décalage entre la deuxième opération et la première, on parle de chauffage à accumulation.

Comparé au chauffage direct, le chauffage à accumulation présente l'avantage de consommer principalement l'énergie électrique pendant les périodes de bas tarif.

### 1.2 Le chauffage direct

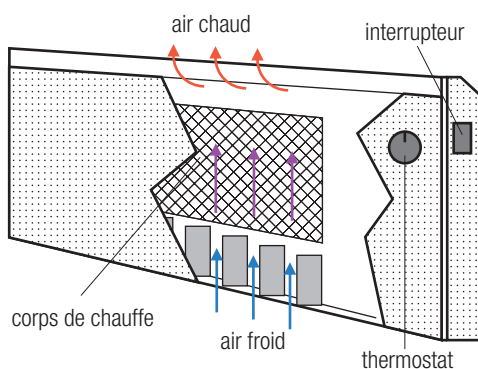
Le chauffage direct permet de transformer immédiatement l'énergie électrique en chaleur avec effet immédiat pour les pièces à tempérer.

Avec le chauffage direct, l'énergie électrique n'est consommée qu'au moment des besoins avec une régulation pièce par pièce tenant compte des apports gratuits de chaleur (ensoleillement, apports internes au logement) et des déperditions thermiques (température extérieurs, vents, etc.).

La capacité de rétention de chaleur des parois et du mobilier autorise l'interruption de l'alimentation électrique pour une courte durée. Généralement, la coupure du courant par le distributeur (deux fois une demi-heure) n'influence pas de manière perceptible la température régnant dans le local.

Dans les chapitres suivants, on ne traitera que les appareils fixés à demeure.

### 1.2.1 Les convecteurs muraux



L'air se trouvant dans l'appareil se réchauffe au contact des corps de chauffe. L'air chaud s'échappe par le haut et l'air froid est aspiré par le bas de l'appareil. L'émission de chaleur a donc lieu principalement par déplacement d'air chaud (convection - diminution de la masse volumique suite à la dilatation du gaz ce qui le rend moins dense que l'air plus frais) et dans une moindre mesure par rayonnement. L'intérieur de ces radiateurs est constitué par un corps de chauffe de grande surface à basse température n'enflammant aucune poussière.

Des canaux de convection permettent une augmentation supplémentaire de la surface de contact et assurent ainsi le débit naturel d'air nécessaire, malgré la basse température. Un thermostat d'ambiance intégré permet une régulation continue de la température en fonction des besoins calorifiques. Certains appareils sont équipés d'un dispositif manuel de réduction de la température nocturne ainsi que d'une protection contre les surchauffes. Celle-ci coupe le chauffage, par exemple, lorsqu'un linge est déposé par erreur sur le radiateur et obstrue les ouvertures.

#### Avantages

- rendement assez important sur une petite surface ;
- émission de chaleur immédiate.

#### Inconvénient

- la poussière, brassée par l'air, se dépose contre la paroi et au plafond juste en dessus du convecteur.

#### Puissances :

- 400 à 2000 W.

### 1.2.2 Les convecteurs de sol



Ils étaient avantageusement utilisés partout où une entrée d'air froid importante devait être absorbée comme par exemple devant :

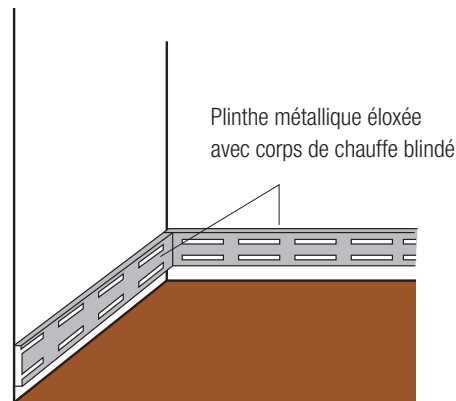
- les parois vitrées ;
- les portes-fenêtres ;
- les façades à fenêtres panoramiques.

Ces radiateurs ont une faible puissance linéaire, ce qui exclut toute combustion de poussière.

Puissance : 480 W par mètre linéaire



### 1.2.3 Les plinthes chauffantes



On remplace les plinthes de la pièce à chauffer par des plinthes chauffantes.

Une sorte de tapis de chaleur se diffuse depuis les plinthes chauffantes et en même temps une partie de la chaleur monte lentement le long des parois, comme un très faible courant d'air. Le déplacement de l'air est inférieur à 10 cm par seconde. Cette enveloppe de chaleur permet un bien-être total dans une ambiance de 20°C.

La température de surface des plinthes de chauffage ainsi que celle de l'air diffusé à leur sortie est particulièrement basse.

Pour une température ambiante de 20°C, celle de surface des plinthes est de 30°C, alors qu'elle avoisine 90°C pour les corps de chauffe traditionnels.

#### Avantages

- température uniforme du plancher au plafond et d'une paroi à l'autre,
- très peu de déplacement de particules de poussière,
- température moyenne de la pièce plus basse de 3°C, pour une même sensation de chaleur, ce qui permet une économie d'énergie de 18 %,
- système facilitant l'ameublement et le nettoyage.

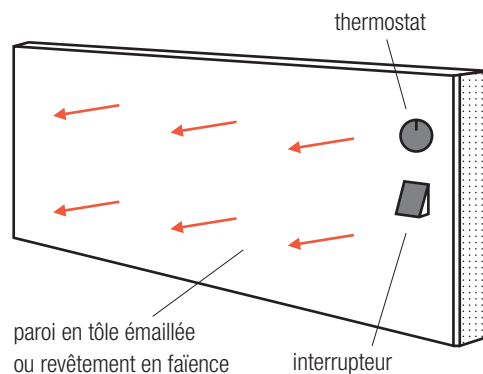
#### Inconvénient

- prix des plinthes relativement élevé.

#### Puissances

- 75 et 170 W pour une longueur de 120 cm.

### 1.2.4 Les parois chauffantes



La surface de chauffe peut atteindre une température de 80°C. La chaleur est émise principalement par rayonnement et dans une faible mesure par convection.

#### Avantage

- la chaleur par rayonnement est très agréable.

#### Inconvénients

- surface de chauffe assez importante ;
- température de la paroi chauffante élevée.

#### Puissances

- 400 à 2000 W.

### 1.2.5 Les radiateurs sèche-linge



Il existe des modèles fixes ou pivotants. Particulièrement utile pour les serviettes éponges qui sinon restent humides souvent durant des heures, de ce fait, elles sont peu hygiéniques et inaptes à remplir l'usage auquel elles sont destinées.

La puissance de ces appareils peut varier de moins de 100 W à plusieurs centaines de watt. Leur emploi est rendu plus confortable avec l'utilisation de programmateur horaire et thermostatique.

*NIBT*

- La pose de sèche-serviettes en volume 1 des salles de bains est autorisée.

### 1.2.6 Les radiateurs « instantanés »

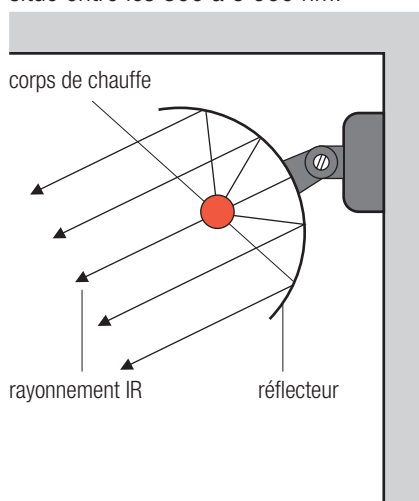


Ce type de convecteur est équipé d'un ventilateur en plus de la résistance électrique.

L'air frais ambiant aspiré par le ventilateur à travers des orifices latéraux d'admission d'air s'échauffe et s'échappe par la grille de refoulement d'air chaud. La température ambiante se règle progressivement et se maintient à une valeur constante à l'aide du sélecteur.

### 1.2.7 Les radiateurs infrarouges

C'est un chauffage par rayonnement à haute température. La longueur d'onde de l'infrarouge se situe entre les 800 à 6'000 nm.



L'élément chauffant est fixé dans un réflecteur en métal poli. Le réflecteur concentre les rayons infrarouges en un faisceau de façon à produire un effet de chauffage localisé et dirigé.

Les rayons infrarouges sont transformés en chaleur dès qu'ils entrent en contact avec des corps solides ou liquides. Les radiateurs infrarouges ne chauffent pas directement l'air de la pièce, mais les surfaces soumises au rayonnement IR. Ce type de chauffage est utilisé comme chauffage d'appoint localisé, par exemple dans les salles de bains, balcons, terrasses, etc. Il est également utilisé dans l'industrie (séchage, polymérisation, cuisson localisée de vernis, etc.).

Longueur d'onde [nm]	Rayonnement infrarouge	Sources
760 – 2'000	court	Lampe, tube à filament de porte à une température env. 2'000°C
2'000 – 4'000	moyen	élément tubulaire en quartz. température de 800 à 960°C
4'000 – 11'000	long	corps de chauffe blindé à une température de 500 à 750°C

### Avantages

- chauffe immédiatement la personne se trouvant dans le faisceau infrarouge, idéal pour la salle de bains ou la douche, comme chauffage d'appoint ou d'entre saisons.

### Inconvénients

- ne chauffe qu'indirectement l'air ambiant, ne dégage de la chaleur sur les objets ou les personnes que dans l'axe du faisceau infrarouge.

### Puissances

- 600 à 2000 W (pour l'habitat).

### NBT

- Lors de la pose, respecter la distance jusqu'aux objets inflammables (2 mètres au minimum sauf avis différents du fabricant).

## 1.2.8 Les radiateurs de bancs



*La puissance des appareils peut être réglée de diverses manières, en plusieurs paliers, avec un interrupteur ou un thermostat.*

Dans les salles de grands volumes comme par exemple les églises, il n'est pas judicieux de chauffer l'air. L'important est que les personnes ne ressentent pas la fraîcheur qu'il peut faire dans ces locaux.

Le chauffage de banc par infrarouge est une solution qui répond à ce besoin. Le rayonnement est partiellement dirigé dans la zone des pieds qui auront une agréable sensation de chaleur sans qu'il y ait de courant d'air.

Cette absence de courant d'air est également bénéfique car il n'y a pas de déplacement de poussière, ni de risque d'en enflammer. Les bancs seront déjà à une température agréable au bout d'une quinzaine de minutes.

### Avantages

- rapidité de chauffe.

### 1.2.9 Rentabilité du chauffage direct

Les frais d'investissement sont plus modestes que pour le chauffage à accumulation (appareils et infrastructure de l'installation, puissance raccordée plus faible).

Comme les appareils de chauffage direct fonctionnent généralement aux heures diurnes, soit à haut tarif, les frais d'énergie sont plus élevés que pour le chauffage à accumulation.

Le chauffage direct constitue malgré tout une formule économique suivant les tarifs d'électricité et la durée de l'entre-saison.

### 1.3 Chauffage par accumulation

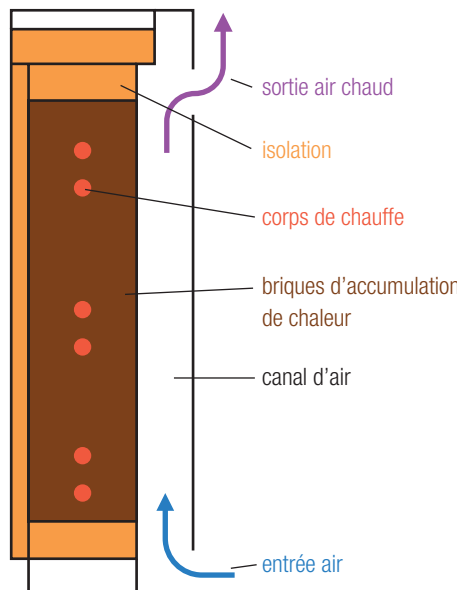
Les appareils de chauffage à accumulation sont alimentés par l'énergie de nuit (bas tarif) qu'ils transforment en chaleur à l'aide de corps de chauffe.

Ces appareils sont équipés en fonction de leur taille et de leur puissance, d'un ou plusieurs corps de chauffe noyés dans une masse d'accumulation en briques de magnésite.

Le grand pouvoir accumulateur des briques de magnésite permet de stocker une grande quantité de chaleur dans un volume restreint. La masse d'accumulation est entourée d'une isolation thermique et logée dans un caisson d'allure plaisante.

La chaleur accumulée est dispensée durant la journée suivante.

#### 1.3.1 Les accumulateurs statiques



Dans les accumulateurs statiques, l'air est chauffé uniquement par contact avec la masse des briques chaudes de magnésite. La circulation de l'air dans l'accumulateur se fait librement et ne peut être réglée. Le débit de l'air dépend de la température entre la surface de chauffe et l'air du local.

Ce type d'accumulateur convient aux locaux de service (buanderie, tambour d'entrée, corridor, etc.).

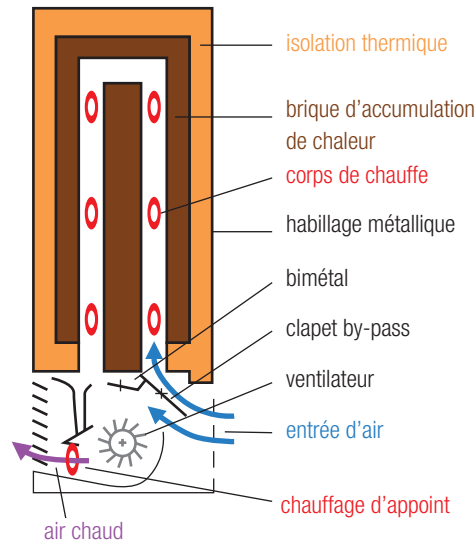
#### Avantages

- construction simple ;
- prix d'achat meilleur marché que les autres types d'accumulateurs.

#### Inconvénients

- la température de l'air chauffé n'est pas très constante ;
- pas de possibilité de réglage du débit de l'air chaud.

### 1.3.2 Les accumulateurs dynamiques



Dans les accumulateurs dynamiques, l'air de la pièce est chassé au travers des briques d'accumulation au moyen d'un ventilateur intégré. La chaleur nécessaire au chauffage est ainsi transmise dans la pièce.

Pour obtenir une transmission de chaleur par convection minimale, le bloc accumulateur dispose d'un revêtement calorifuge très efficace caché par un habillage extérieur.

La régulation de la restitution de la chaleur est assurée par le ventilateur qui est enclenché automatiquement, le thermostat d'ambiance monté sur la paroi du local à chauffer.

Pour éviter une température exagérée de l'air chaud pulsé dans la pièce (max. 120°C), une déviation (by-pass) commandée par un bimétal assure préalablement un mélange avec l'air ambiant.

L'appareil est doté d'un thermostat de sécurité qui empêche la surchauffe.

Malgré le volume important de leur revêtement calorifuge, l'encombrement de ces appareils de chauffage est relativement restreint. Leur profondeur varie, suivant le modèle et la fabrication, de 18 cm à 35 cm.

#### Avantages

- le ventilateur incorporé à l'appareil permet de chauffer une pièce en quelques minutes,
- la commande thermostatique séparée a le grand avantage de tenir compte de toutes sources de chaleur extérieures (due au soleil, à des appareils ménagers, à des lampes puissantes, à la présence de personnes, etc.). La commande automatique du ventilateur réagit alors en conséquence.

#### Inconvénients

- il est nécessaire de choisir des appareils de puissance optimale, si l'accumulateur est déchargé, il n'y a plus possibilité de chauffer le local, sauf si l'appareil possède un chauffage d'appoint,
- la profondeur de l'appareil pose souvent un problème esthétique d'intégration dans le local,
- bruit du ventilateur.

#### PDIE

- Les distributeurs d'énergie imposent une ou plusieurs coupures en journée du chauffage direct et impose des heures de fonctionnement nocturne du chauffage à accumulation. Dans ce cas une «relance» est généralement possible en journée.

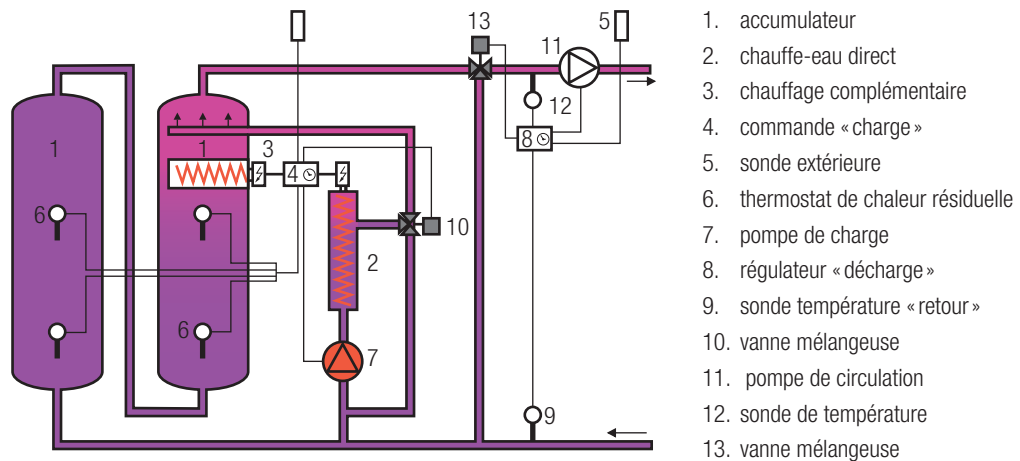
## 1.4. Accumulateurs électriques pour chauffages centraux

L'installation nécessaire pour chauffer les locaux est identique à celle utilisée en liaison avec le chauffage central à eau chaude, chauffée avec du mazout ou du gaz.

Dans de nombreux cas, l'accumulateur central peut remplacer une ancienne chaudière, grâce à quelques modifications aisément effectuées de l'installation existante. Les chauffages à accumulation électrique peuvent être utilisés pour chaque système de chauffage central jusqu'à une température d'eau de 95°C.

### 1.4.1 Les accumulateurs à eau

Dans ce système, la chaleur est stockée dans l'eau. Selon le mode de construction, on se trouve en présence de un ou de plusieurs réservoirs à eau en tôle d'acier entourés d'une jaquette d'isolation d'une épaisseur de 25 cm environ, limitant la déperdition de chaleur. Le réservoir est équipé de tiges blindées (3), il contient en outre un corps de chauffe dans le circuit interne (2), une pompe de charge (7) et une vanne mélangeuse (10). Le circuit externe, lui est également équipé d'une pompe de circulation (11) et d'une vanne mélangeuse (13).



#### 1.4.1.1 Processus de charge

Durant ce processus, la pompe de charge (7) fait circuler l'eau dans les réservoirs en circuit fermé.

Le corps de chauffe du circuit (2) n'entre pas en action si l'eau chaude n'est pas sollicitée pendant la mise en charge. Une commande automatique (4) règle la température de l'eau nécessaire au chauffage du bâtiment en fonction de la température extérieure et de la température résiduelle de l'eau des réservoirs.

Suivant les PDIE (prescription des distributeurs sur les installations électriques) locale, les recharges de jour peuvent être réalisées automatiquement à haut tarif lors des pointes de froid.

#### 1.4.1.2 Prélèvement de la chaleur

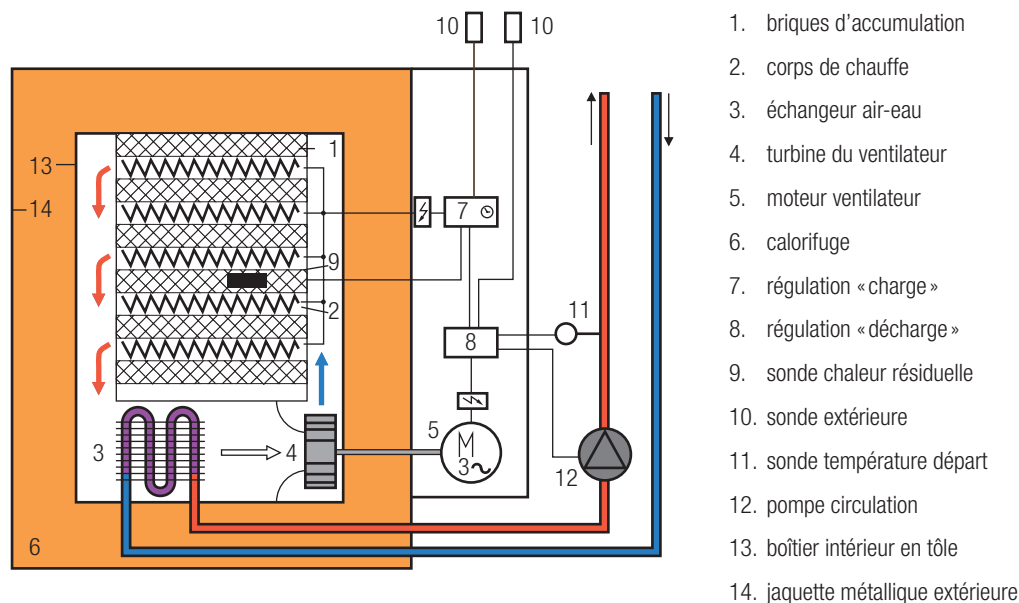
L'eau chaude provenant des accumulateurs est amenée suivant les besoins thermiques par l'intermédiaire de la vanne mélangeuse (10) à l'eau chaude du circuit du chauffage central.

La régulation de la température de l'eau de départ (12) du chauffage central est assurée en fonction de la température extérieure (5) par un dispositif de régulation électronique (8). Celui-ci assure conjointement la limitation de la température de retour (9) afin que l'eau de retour, suffisamment chaude, ne pénètre pas dans l'accumulateur.

### 1.4.2 Les accumulateurs à matière solide

Dans ce système, la chaleur produite par des corps de chauffe électriques est accumulée dans des briques de magnésite. Pour un volume équivalent, on peut accumuler sept fois plus de chaleur dans la magnésite que dans l'eau.

Les briques de magnésite (1) sont disposées dans un compartiment intérieur de façon à aménager des canaux (2) permettant aussi bien la mise en charge que la décharge. Ce compartiment intérieur est fortement isolé (6), la déperdition de chaleur est de ce fait réduite à un minimum.



#### 1.4.2.1 Processus de charge

Au tarif de nuit, les briques de magnésite (1) sont chauffées de 150°C environ (chaleur résiduelle) à une température maximale de 650°C. Ce processus est réglé par une commande de charge (7) selon la température extérieure et le reste de chaleur stockée.

#### 1.4.2.2 Prélèvement de la chaleur

La pleine charge est atteinte après env. 8 heures. Une recharge de jour, si nécessaire, peut être réalisée automatiquement.

Une seconde commande (8) assure le fonctionnement d'un ventilateur (4) commandé par un moteur (5) en réglant sa vitesse, selon la température extérieure et celle de départ donné par la sonde (11). En fonction de la valeur de consigne, le ventilateur transporte la chaleur stockée dans les briques de magnésite (1) à l'échangeur de chaleur (3). Celui-ci la transmet à l'eau de chauffage que la pompe de circulation (12) amène dans les radiateurs ou les panneaux chauffants.

#### NIBT

- Les conduites d'eau froide et d'eau chaude métalliques doivent être reliées à la liaison l'équipotentielle lorsqu'elles sont accessibles.

## 1.5 Systèmes de chauffage à câbles

### 1.5.1 Câbles chauffants

Avec le système de chauffage électrique, il n'y a plus besoin de penser à l'achat de l'huile de chauffage, pas besoin de citerne, plus de facture de ramonage, de service d'entretien du brûleur ni de révision de citerne. Le courant arrive toujours à la maison sans être néfaste à l'environnement. Il ne provoque ni pollution de l'air par résidus de combustion ni fumée. Le courant est produit en Europe. Étant donné les différences d'exigences de construction et de confort, il existe plusieurs systèmes de chauffage. Le chauffage par le sol ou par le plafond qui apporte d'importants avantages. Il est plus économique que les système de chauffage direct. Il permet plus de souplesse pour l'ameublement des pièces et n'a besoin d'aucun entretien.

Les systèmes de chauffage conventionnels distribuent la chaleur de manière peu appropriée. Une grande chaleur est dégagée sur une relativement petite surface. Comme « la chaleur monte », l'on constate une température élevée au plafond et au sol (les pieds sont souvent froids et la tête trop chaude). Cela engendre une circulation d'air relativement importante. Ceci n'est pas seulement désagréable, mais également malsain. Il en va autrement pour le chauffage de sol.



*Chauffage de sol*

Il apporte une température plus élevée là où on l'apprécie le plus, c'est-à-dire dans les zones inférieures, sur toute la surface du sol. Comme la chaleur est diffusée de manière uniforme, on peut se contenter d'une température ambiante plus basse avec bien plus de confort et une circulation d'air moindre. L'avantage est aussi l'économie d'énergie car le réglage du thermostat peut être plus bas pour un même sentiment de confort.



*Convecteur traditionnel*

Ceci est également valable pour le chauffage par le plafond. Le chauffage par le sol ou par le plafond produit non seulement un bien-être, mais également un climat ambiant plus sain pour une consommation d'énergie minimale.

Dans le cadre de ce cours nous étudierons les systèmes suivants :

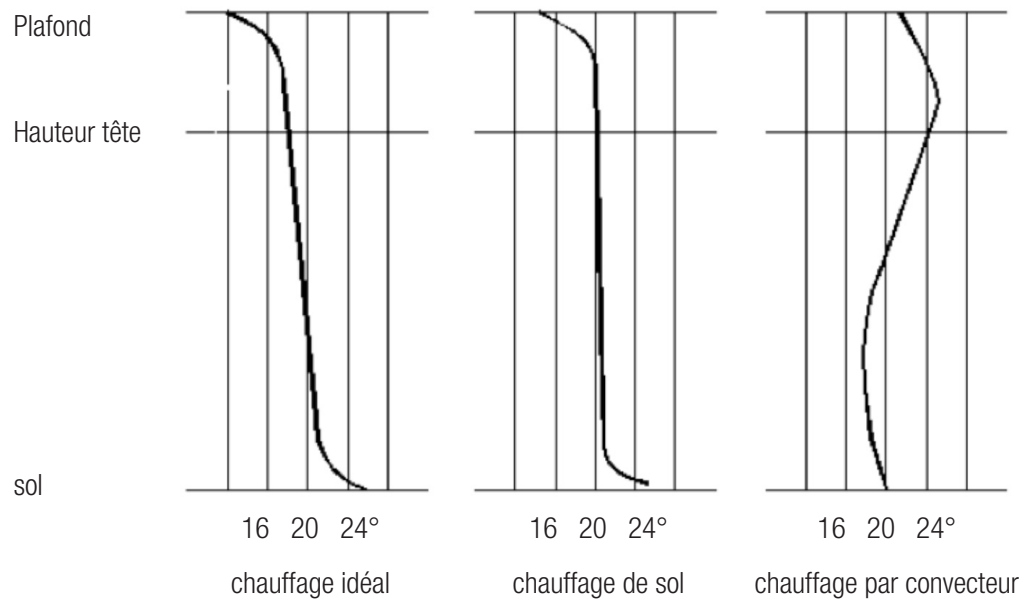
- chauffage de sol par natte chauffante ;
- chauffage de sol millimètre ;
- chauffage par bandes chauffantes ;
- chauffage par rubans autorégulants



## 1.5.2 Le chauffage de sol

Le chauffage de sol est constitué d'éléments de chauffage directement encastrés dans la chape. Il a l'avantage de ne pas être visible et d'approcher de très près le chauffage « idéal » grâce à l'émission de la chaleur depuis le plancher (pieds chauds, tête froide).

### *répartition de la chaleur en fonction de la hauteur*



### 1.5.2.1 Généralités

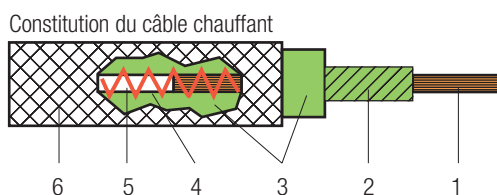
Le chauffage de sol transmet son énergie thermique à la chape par conduction. Le chauffage de la pièce se fait ensuite par de faibles mouvements de convection. Le temps entre le moment de l'enclenchement du chauffage et ses effets sur la température ambiante est relativement long (de l'ordre de quelques heures).

Afin d'améliorer le confort, il convient d'installer un chauffage d'appoint qui a une très bonne réactivité.

#### *NIBT*

- Le point de jonction entre le câble chauffant et les extrémités froides des câbles chauffants ne sont pas concernés par l'obligation de rester accessibles.

## 1.5.2.2

Caractéristiques  
du câble chauffant

1. extrémité froide (Cu étamé.. 1,5 mm<sup>2</sup>)
2. gaine isolante en propylène
3. enveloppe en polyamide
4. fil porteur en polyamide
5. conducteur chauffant (2 à 6 fils en CuNi)
6. tresse en Cu étamé (selon application)

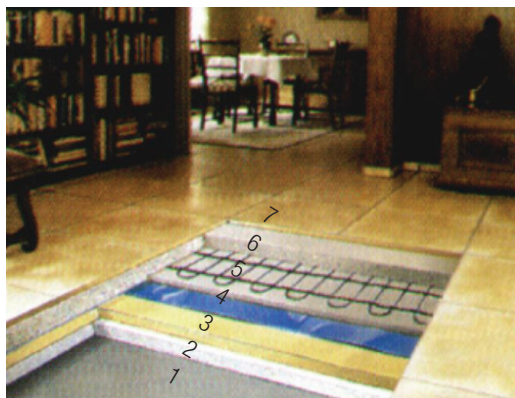
Selon l'épaisseur de la chape, le temps de chauffage de la chape et de la quantité d'énergie emmagasinée est plus ou moins important.

Le natte chauffante est à poser à une profondeur 6 à 8 cm pour un chauffage à accumulation et de 2 à 5 cm pour un chauffage direct.

Grâce à sa structure, le câble chauffant possède une très haute résistance mécanique et thermique. Le rayon minimal de courbure est 3 cm. En raison de son étanchéité intégrale, le câble peut généralement être également posé dans des revêtements humides.

## 1.5.2.3

## Éléments de chauffage



Pose d'une natte chauffante

1. Dalle brut
2. Isolation thermique
3. Isolation thermique et phonique
4. Barrière vapeur
5. Chauffage de sol
6. Chape ciment
7. Revêtement du sol

La puissance d'un câble est fonction de sa longueur.

Les valeurs usuelles des différents types de câbles varient de 0,1 à 3 ohm/m.

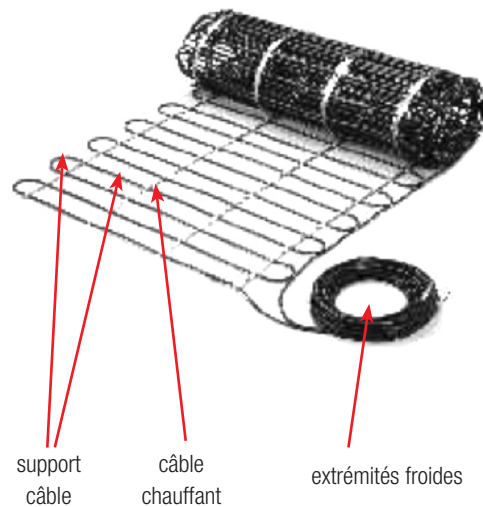
Les nattes sont confectionnées pour des puissances comprises entre 150 et 2000 W et une tension nominale de 230 V (parfois même 400 V).

## Note

- Les nattes sont livrées en rouleau de la surface et de la forme voulue (il n'est pas nécessaire de chauffer sous les meubles). Avant de les poser il faut légèrement les chauffer en les branchant à une source électrique pour les assouplir.

## 1.5.2.4

## Régulation et commande



En mode «chauffage direct» la natte est simplement commandée par une sonde de sol - qui évite une élévation trop importante de la température de la chape - et d'un thermostat qui permet de régler la température de la pièce. Pour les grande pièce (plus de 2kW de chauffage installé) il faut utiliser un contacteur. Pour le chauffage à accumulation, le stockage de la chaleur est commandée par une sonde de sol - qui évite une élévation trop importante de la température de la chape - et d'un thermostat qui permet de régler la température de la pièce.

Pour les grande pièce (plus de 2 kW de chauffage installé) il faut utiliser un contacteur par un appareillage de régulation automatique de charge. Ce système se compose d'un appareil de commande central avec sonde de température extérieure et d'un régulateur de zones. Pour chaque zone, il y a une commande de chaleur résiduelle. En fonction de la température extérieure et de la chaleur encore présente dans le plancher, la régulation de charge détermine le temps de charge nécessaire (à la fin de la période de bas tarif).

## 1.5.2.5

## Applications

Chauffage par le sol, direct ou à accumulation, dans les habitations, églises, bâtiments publics et industriels.

Chauffage de ponts, rampes, escaliers et chemins pour piétons, recouverts de béton, de bitume ou d'asphalte (maintien hors gel).

## Avantages

- la température du sol est uniforme ;
- la chaleur est restituée lentement dans tout le local ;
- en aucun endroit du local il n'y a des zones de haute température (comme c'est le cas du chauffage par radiateurs) ;
- peu de déplacement de particules de poussière ;
- système facilitant l'ameublement et le nettoyage.

## Inconvénients

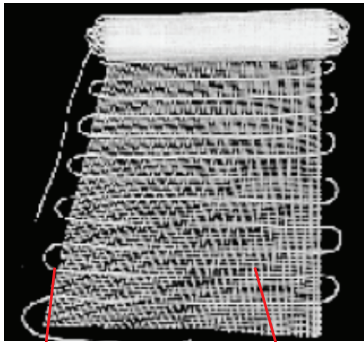
- on ne peut pas régler la décharge de la chaleur accumulée dans la chape ;
- aucun élément de fixation pénétrant dans le sol ne doit être utilisé dans les zones équipées du chauffage de sol, ;
- grande inertie de chauffage ;
- émission d'un champs électromagnétique sur toute la surface de la pièce.

## NIBT

- Un dispositif de coupure à courant différentiel-résiduel doit être utilisé avec  $I_{\Delta n}$  d'au maximum 30 mA lors de la pose de tout chauffage de sol.

### 1.5.3

#### Chauffage de sol à « nattes millimètre »



câble chauffant

grille à mailles fines

La natte chauffante (ou tapis calorifique) est réalisée à partir d'un câble chauffant composé d'un toron résistif de 7 brins, isolé au Téflon, le tout blindé par une tresse de fils de cuivre zingué d'une section globale de 1,5 mm<sup>2</sup>. Le diamètre extérieur du câble est d'environ 3 mm.

L'alimentation des tapis d'une largeur de 40 ou 80 cm et de 1,5 à 18 m de long est réalisée par deux extrémités froides de 2,5 m de long.

La grille à mailles fines, supportant le câble, est en matière plastique. Cette conception permet à la colle du revêtement de sol d'entrer en contact avec la chape à travers les mailles de la grille, d'où un collage performant et une bonne diffusion de la chaleur.

La natte chauffante se pose directement sous le revêtement du sol, dans la colle du carrelage, et ne nécessite pas de protection mécanique.

Le revêtement de sol doit être adapté au chauffage de sol.

Le chauffage millimétrique est livrable en 80-160 W/m<sup>2</sup>. Le chauffage de sol n'est pas uniquement posé dans les nouvelles constructions, mais convient également parfaitement lors de rénovations avec des sols de peu d'épaisseur.

La puissance par mètre est suffisamment basse pour éviter d'avoir une température du sol supérieure à 30°C.

#### Les valeurs suivantes sont à respecter :

matière	épaisseur max.	valeur [W/mK]
Carrelage	30 mm	1,00
Parquet	16 mm	0,14
Moquette	20 mm	0,09
Liège	10 mm	0,08
PVC	30 mm	0,23

### 1.5.4

#### Chauffage électrique extérieur



Ces câbles chauffants étaient une solution idéale pour maintenir hors gèle, des voies de circulation, des rampes, des ponts.

#### Fonctionnement

Une sonde mesure la température et l'humidité de la surface à chauffer. Cette dernière, par conséquent, doit être installée à l'endroit où l'humidité persiste le plus longtemps.

Lorsque la sonde détecte une surface froide et humide, l'appareil de commande enclenche le chauffage.

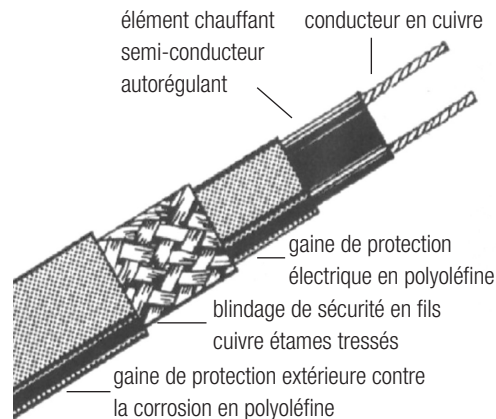
Le câble calorifique convient au montage dans :

- du béton ;
- des couvertures de ciment ;
- des revêtements de bitume/asphalte.

## 1.5.4.1

*Les rubans chauffants autorégulants*

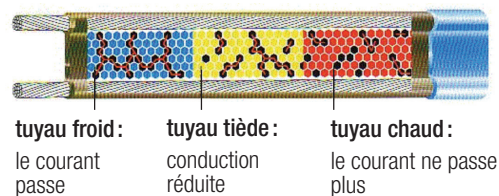
Les rubans chauffants autorégulants sont très utiles pour le déneigement des toitures chéneaux et gouttières, pour le maintien hors gel des conduites exposées au froid et le maintien en température des circuits d'eau chaude sanitaire, la protection contre le gel des canalisations, des chéneaux, la mise hors gel des cuves à mazout, terrasses, déneigement, ainsi que pour la protection des réseaux d'incendie, des compteurs ...



L'élément chauffant est constitué d'une matière plastique de composition spéciale avec des particules de carbone noyées dans la masse et formant une résistance entre les deux conducteurs parallèles en cuivre.

Lorsque la température augmente, la matière plastique se dilate et la distance entre les particules de carbone s'accroît de plus en plus. La résistance électrique de l'élément chauffant augmente, le courant et la puissance diminuent.

Lors du refroidissement, ce processus s'effectue en sens inverse, la puissance de chauffage augmente.



Grâce à ce système d'auto-régulation, le ruban chauffant réagit aux modifications de température à chaque centimètre du système (un tronçon du câble peut produire de la chaleur sans que le reste du câble n'en produise).

On peut assimiler le ruban chauffant autorégulé à un nombre infini de résistances PTC raccordées en parallèle. Il est possible de couper le câble autorégulant à n'importe quelle longueur. Une des extrémités sera raccordée au 230 V, alors que l'autre devra être isolée. La puissance des rubans est de 10 à 40 watts par mètre.

Différents organes d'alimentation et de commande sont disponibles sur le marché :

- commande par interrupteur manuel avec lampe de contrôle ;
- commande par interrupteur manuel et thermostat différentiel (p. ex. +2°C et - 8°C).

## 1.6 Commandes

L'installation des chauffages électriques n'est généralement plus admise. Les installations existantes risquent de devoir être mises hors service d'ici 2030.

En général, le chauffage direct peut être utilisé toute la journée avec une coupure diurne d'une heure ou de deux fois une demi-heure (pour éviter une diminution trop importante de la température ambiante) afin de limiter les pointes de consommation du milieu de journée. Le chauffage à accumulation fonctionne principalement la nuit. Toutefois, une relance diurne est possible.

### 1.6.1 Désignation des fils pilotes

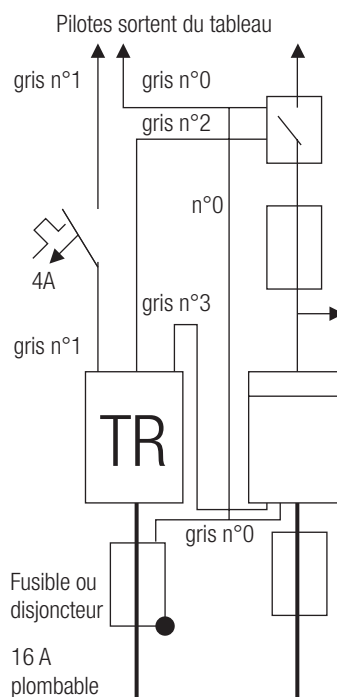
chauffage direct	CD
chauffage à accumulation	CA
chauffage mixte	cm

### 1.6.2 Régulation et commande

Les chauffages à accumulation ont un fonctionnement plus rentable si leur dispositif de commande est géré par une régulation.

Lors de la pose de chauffage direct à convecteurs, il existe deux variantes de réglage de la température possibles :

- s'il n'y a qu'un seul convecteur dans la pièce, on utilise des convecteurs avec le thermostat incorporé,
- s'il y a plusieurs convecteurs par pièce, on place un thermostat d'ambiance unique qui commande l'ensemble des convecteurs afin d'assurer une température uniforme dans la pièce et un fonctionnement / vieillissement identique pour chaque radiateur.



## 1.7. Principes du bilan thermique

### 1.7.1 Besoin calorifique

Le but du chauffage d'un local est de compenser les déperditions thermiques afin de garantir une température ambiante agréable et constante.

Les déperditions thermiques sont dépendantes de différents facteurs tels que :

- type d'isolation
- épaisseur de l'isolation<sup>1)</sup>
- surface de contact avec l'extérieur<sup>1)</sup>
- lieu de contact avec l'extérieur (sous-sol – murs extérieurs – toiture)
- surface et qualité du vitrage<sup>1)</sup>
- température extérieure<sup>2)</sup>
- exposition aux vents<sup>3)</sup>
- apports passifs
- comportement des usagers<sup>4)</sup>
- source de chaleur complémentaire

### Notes

<sup>1)</sup> Les échanges thermiques sont proportionnels à la différence de température et la surface de contact et inversement proportionnels à l'épaisseur de l'isolation.

<sup>2)</sup> Les pertes sont d'autant plus grandes que l'écart de température est important. Un réglage de la température ambiante à 18°C au lieu de 22°C permet une économie d'énergie de 50 % lorsque la température extérieure est de 16°C et de 18 % si elle est de 0°C.

<sup>3)</sup> Le vent tend à augmenter les échanges de chaleur et donc le refroidissement des locaux chauffés.

<sup>4)</sup> Le comportement des usagers peut faire varier grandement le besoin d'énergie au maintien d'une température ambiante agréable. Pour une hygiène de vie optimale, il est important de procéder à l'aération des locaux. Pour cela, il est préférable de faire de grands renouvellements d'air (fenêtres grandes ouvertes durant 5 minutes) deux à trois fois par jour à la place d'un faible renouvellement permanent (fenêtres entre-ouvertes en permanence).

Les principes de base de la maison passive sont la **réduction des déperditions thermiques** et le bénéfice des **apports directs de l'énergie solaire** (apports passifs).

### 1.7.2

#### Diminution des déperditions

Les règles suivantes permettent d'appliquer ces principes

- **Choisir un corps de bâtiment compact**

Le choix du rapport surface/volume a un impact sur le besoin calorifique. En réduisant la surface de contact avec l'extérieur, on diminue les déperditions thermiques excessives. Une maison mitoyenne est avantageuse, et d'autant plus si elle a plusieurs étages car elle comporte moins de surface de murs extérieurs pour un même volume.

- **Éviter l'exposition au vent (auvent et ombrage)**

Un store présente l'avantage d'empêcher la surchauffe d'une pièce l'été. Une haie autour de la maison lui évitera d'être refroidie par le vent.

- **L'enveloppe étanche du bâtiment**

- **Limiter les ponts thermiques**

Les ponts thermiques génèrent des pertes de chaleur, mais aussi des taux d'humidité trop élevés.

### 1.7.3

#### Apports passifs

- **Orienter le bâtiment vers le sud**

Il est possible d'augmenter les apports sans utiliser de système producteur d'énergie thermique. Il suffit d'orienter les façades avec une grande surface vitrée vers le sud. Une véranda peut servir de zone tampon entre l'intérieur chauffé et le vent extérieur.

### 1.7.4

#### Source de chaleur étrangère

Lors du dimensionnement d'une installation de chauffage, il est important de tenir compte des apports calorifiques d'autres sources telles que :

- chaleur dégagée par les personnes lors de grands rassemblements. On admet qu'une personne équivaut à un apport thermique d'une puissance de 0,1 kW. Pratiquement cela veut dire qu'une salle de réunion doit être réglée avec une température relativement basse avant l'arrivée des convives afin qu'elle n'augmente pas trop en présence des occupants,
- chaleur dégagée par des appareils en fonction. Par exemple, une salle avec des serveurs informatiques est chauffée par les appareils en service.
- dans l'habitat, la présence d'une cheminée pour servir de complément lors de grands froids.

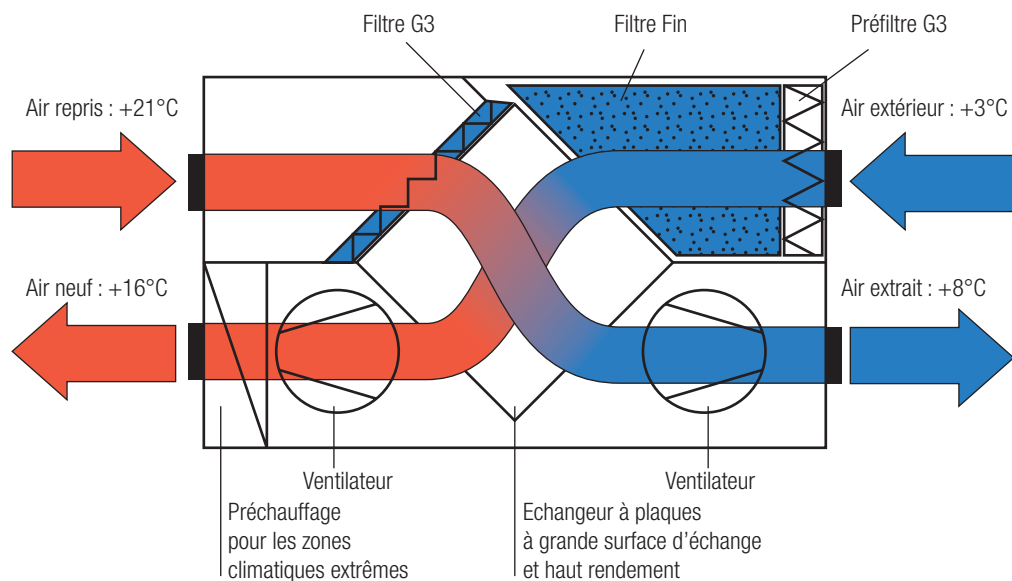
### 1.8

#### Récupération calorifique

Afin d'améliorer le coefficient énergétique d'une maison, on peut avoir recours à la récupération de l'énergie calorifique contenue dans les matières avant que celles-ci ne soient évacuées de l'habitat.

On peut facilement récupérer l'énergie de l'air

Cela consiste à utiliser une aération centralisée avec un échangeur de chaleur.



L'air froid de l'extérieur est réchauffé par l'air chaud expulsé.

Dans cet exemple, on soutire 13 degrés ( $21 - 13 = 8$ ) à l'air vicié extrait pour les transmettre à l'air frais aspiré ( $3 + 13 = 16$ ).

#### Note

*Ce système fonctionne aussi en climatiseur l'été.*

Selon le même principe, il est également possible d'installer des récupérateurs de chaleur sur les eaux évacuées.



**1.9 Questionnaire**

1. Quel est le principe du chauffage de sol?

---

---

2. Qu'est-ce qui sert de masse d'accumulation de chaleur dans le chauffage de sol?

---

3. Décrire le principe du chauffage de sol.

---

---

4. Quelles sont les puissances maximales et la tension de raccordement des nattes de chauffage?

---

5. Décrire le principe de la régulation d'un chauffage de sol.

---

---

6. Quel est le principal avantage du chauffage de sol à « nattes millimètre »?

---

---

7. Quel est le diamètre extérieur du câble chauffant de cette natte?

---

---

8. Comment interpréter les valeurs [W/mK]?

---

---

9. Quel est le principe du ruban chauffant autorégulant?

---

10. Quels sont les inconvénients du chauffage de sol par câbles chauffants?

---

11. De quels éléments sont constitués les rubans chauffants autorégulants?

---

---

12. Citer quatre applications des rubans chauffants autorégulants :

---

---

13. Quel est le désavantage marquant de tous les chauffages de sol ?

---

---

14. Citer le nom des trois modes de propagation de la chaleur :

---

---

---

15. Pour chacun de ces modes, citer un exemple d'appareil électrique qui utilise ce mode en priorité lors de son fonctionnement :

---

---

16. Expliquer pourquoi les fluides chauds ont tendance à monter :

---

---

---

17. Indiquer quel mode de transmission de la chaleur est apte à se propager dans le vide :

---

18. Citer les avantages du chauffage électrique :

---

20. Quelle est la différence entre un système de chauffage direct et un système à accumulation ?

---

---

---

21. Quelle est la provenance du noircissement que l'on trouve parfois au-dessus des convecteurs muraux ?

---

22. Dans quels cas peut-on trouver des convecteurs de sol ?

---

23. Citer les avantages des plinthes chauffantes :

---

24. Quel système de chauffage conseillez-vous à un client désirant un chauffage sur une terrasse couverte ?

---

25. Qu'est-ce que l'on entend par une décharge d'un chauffage à accumulation :

a) statique ?

---

---

b) dynamique ?

---

---

26. Donner le nom du matériau que l'on utilise pour stocker la chaleur dans les radiateurs à accumulation :

---

27. Quel est l'avantage d'un accumulateur équipé d'un chauffage d'appoint (direct) ?

---

---

28. Citer deux systèmes d'accumulateurs électriques pour chauffages centraux et dire quel est le système le plus avantageux et pour quelles raisons :

---

---

---

29. Expliquer le principe de fonctionnement d'un accumulateur à eau :

---

---

---

30. Que faut-il raccorder au PA lors de l'installation d'une chaudière électrique ?

---

---

31. Quand doit-on mettre un DDR lors de la pose d'un câble chauffant ?

---

---

32. Quel est le numéro du fil pilote utilisé pour la commande d'un chauffage à accumulation (CA) ?

---

---

33. Dans quels cas utilise-t-on des convecteurs sans thermostat incorporé ?

---

---

34. Pourquoi ne doit-on pas installer une sonde extérieure sur une façade ouest ?

---

---

35. A quelle température doit-on régler le thermostat de sol d'un chauffage en chape ?

---

---

---

36. Quels sont les facteurs à prendre en considération lors du dimensionnement d'une installation de chauffage ?

---

---

37. Citer deux avantages des apports passifs :

---

---

38. Comment augmenter les apports passifs ?

---

---

39. Citer deux avantages d'une ventilation avec échangeur de chaleur :

---

---

---

40. Faire le schéma d'une commande d'un chauffage de sol avec 3 nattes de 1 kW.

## Chapitre 2 CUISINIÈRES ÉLECTRIQUES

### 2.1 Généralités

Nous étudierons principalement les cuisinières électriques à usage domestique.

Les éléments essentiels de ces appareils de cuisson sont les foyers (plaques de cuisson) et le four, qui peuvent être séparés (réchaud ou four) ou groupés en un seul appareil (cuisinière).

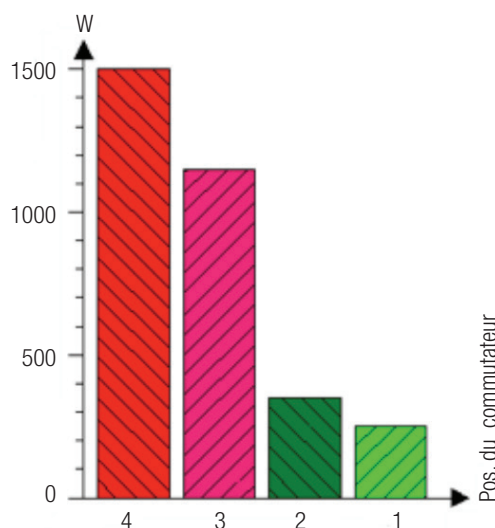
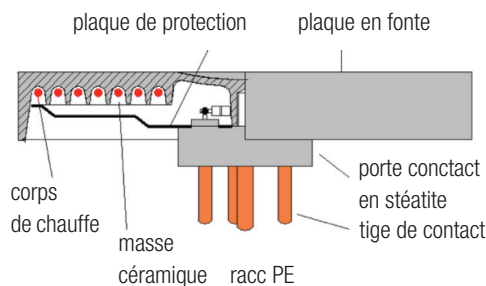
Le réchaud est un appareil comportant généralement deux à quatre foyers de cuisson dont la puissance totale peut atteindre environs 7 kW. Dans le cas d'un foyer à induction, la puissance est généralement plus élevée. Il n'est pas rare que le constructeur ne permette pas l'emploi de tous les foyers en même temps s'ils sont utilisés à leur puissance maximale.

Le terme de four sert à désigner une enceinte close et calorifugée, comportant des corps de chauffe, permettant de cuire, rôtir, griller et dont la puissance est généralement inférieure à 3 kW.

La cuisinière électrique est un appareil comportant deux à quatre foyers de cuisson et un four, dont la puissance totale est d'environ 10 kW.

### 2.2 Les plaques cuisson massives

#### 2.2.1 Les plaques de cuisson massives à deux ou trois corps de chauffe commandées par un commutateur



Puissance de la plaque en fonction de la position du commutateur

Le corps de chauffe de ces plaques est un fil de nickel-chrome boudiné, réparti en plusieurs valeurs de résistances inégales. Ces résistances sont enrobées d'une masse céramique isolante et pressées dans des rainures à l'envers de la plaque en fonte.

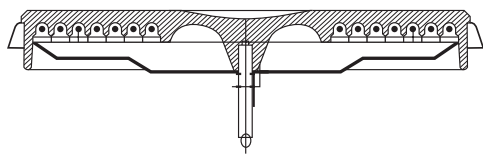
Les anciennes plaques massives à broches possédaient deux circuits de résistances commandés par un commutateur à 5 positions (4 pos. + 0). Elles étaient amovibles.

Dans un premier temps, elles ont été remplacées par des plaques de cuisson fixes ayant les mêmes caractéristiques électriques. Des cuisinières électriques équipées de telles plaques sont de plus en plus rares aujourd'hui.

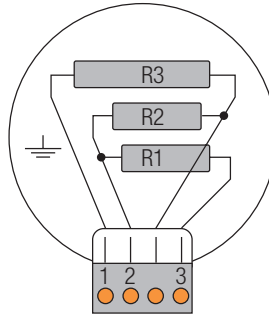
La répartition de la puissance en fonction de l'échelon du commutateur est loin d'être linéaire, raison pour laquelle ces plaques n'équipent plus les cuisinières actuellement.

Actuellement, on a des commutateurs à 7 positions (« 0 » + 6 positions) ou des gradateurs à variation continue de puissance, repérés de 0 à 12.

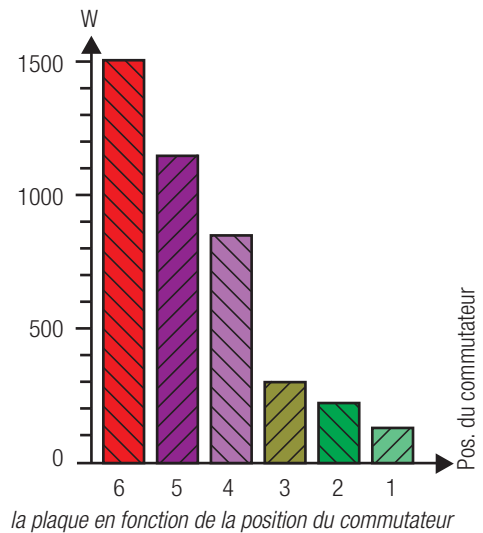
Aujourd'hui, les plaques en fonte sont équipées de trois résistances de valeur différente. Ces trois résistances sont branchées selon le schéma ci-dessous ce qui permet, grâce à un commutateur à came souvent à 7 positions (6 pos.+ 0), d'en modifier le couplage afin de varier la puissance de la plaque.



plaque de cuisson fixe



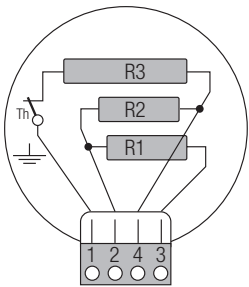
plaque standard à 7 positions



La variation de puissance n'est pas linéaire. On note toujours un saut important de puissance entre les trois valeurs basses et les 3 valeurs hautes. La puissance choisie est constante au cours du temps.

### 2.2.2 Plaques rapides

On désigne par plaques rapides, des plaques de cuisson de mêmes grandeurs que les plaques standards, mais de puissances plus élevées. Souvent le centre de ces plaques (partie creuse) est rouge, ce qui permet de les repérer facilement.



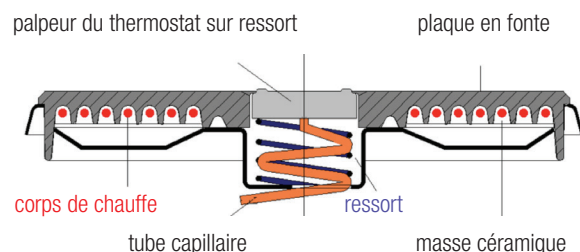
plaque rapide avec limiteur de température

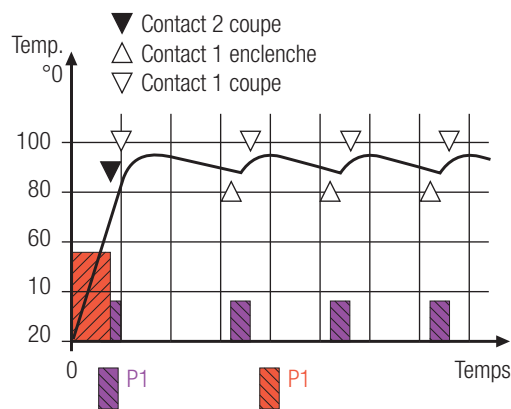
Une plaque standard peut atteindre une température de 300° à 400°C. Pour éviter que cette température ne s'élève dangereusement, lors d'un fonctionnement à vide (sans récipient) ou avec un ustensile incorrect, la plaque rapide est équipée d'un thermostat bimétallique intégré à l'arrière de la plaque. Ceci permet également de mieux régler sa puissance par rapport à une normale.

### 2.2.3 Les plaques de cuisson commandées par thermostat

Cette plaque est combinée avec un thermostat à tube capillaire dont le bulbe est placé au centre de la plaque par une fixation sur ressort. Il est ainsi plaqué contre le fond du récipient dont il palpe la température, ce qui permet un réglage de la température et non de la puissance.

Une fois la température atteinte, le thermostat coupe le corps de chauffe et le réenclenche une fois la température trop basse.





Température de la plaque en fonction de la puissance choisie et du temps.

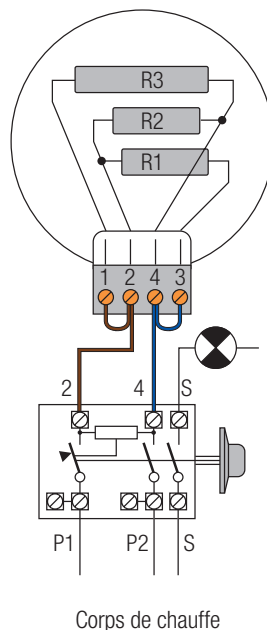
La puissance maximale dépend partiellement du diamètre de la plaque et varie de 1000 à 2000 W.

La plaque possède deux circuits de chauffage de puissances différentes. Ces circuits sont respectivement ouverts ou fermés - par deux contacts commandés par le thermostat - en fonction de la température choisie.

La température prévue est ensuite maintenue par fermeture et ouverture successives du circuit de petite puissance.

En augmentant la position de réglage, les intervalles de temps de coupure deviennent toujours plus courts (la température augmente) pour finalement disparaître. Le circuit de petite puissance reste alors constamment fermé.

### 2.2.4 Les plaques de cuisson commandées par un régulateur d'énergie



Corps de chauffe

Ces plaques sont équipées d'un corps de chauffe « rapide » commandé par un régulateur d'énergie avec ou sans accélération de chauffe. En pratique, on utilise fréquemment des plaques de cuisson à trois corps de chauffe en lieu et place des plaques à un seul. Il suffit de brancher les trois corps de chauffe en parallèle (simplification du service après-vente).

Comme dans les plaques rapides standards, les plaques à un corps de chauffe sont équipées d'une protection contre la surchauffe.

Le régulateur d'énergie décrit ci-dessus a une fonction manuelle.

### 2.3 Les corps de chauffe rayonnants pour plan de cuisson vitrocéramique



plan vitrocéramique

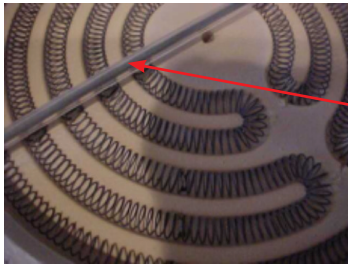
Les plans de cuisson en vitrocéramique ont une surface esthétique, plane, fonctionnelle et d'un entretien facile. A ces attraits s'ajoute une technique qui permet de visualiser le foyer qui est en fonction.

L'emplacement des foyers est dessiné sur la surface du plan de cuisson.



La chaleur est transmise au fond du récipient autant par rayonnement infrarouge que par conduction, ce qui donne au plan de cuisson vitrocéramique un meilleur rendement qu'avec les plaques massives et une plus grande rapidité de chauffe.

La vitrocéramique est un verre qui a été céramisé. Il supporte des températures allant jusqu'à 750°C. Au-delà de cette température, le verre se ramollit.



Les foyers qui sont disposés sous la plaque vitrocéramique sont équipés d'un thermostat de sécurité qui déclenche les corps de chauffe lorsque la température dépasse env. 600°C.



Pour éviter de se brûler au contact du plan de cuisson lorsque le foyer est hors circuit, un voyant lumineux indique la chaleur résiduelle. Le voyant lumineux reste enclenché aussi longtemps que la température dépasse env. 50°C. Ce dernier est enclenché par le contact S-H du thermostat de sécurité.

En principe, tous les ustensiles de cuisine prévus pour la cuisson à l'électricité peuvent être utilisés. Le meilleur rendement est obtenu avec des ustensiles dont le fond est mat et de couleur foncée.

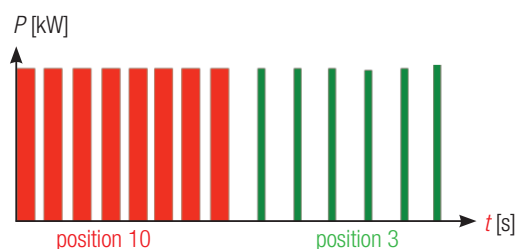
L'entretien de la surface est simple, un coup d'éponge suffit. Pour éliminer les salissures plus importantes, les débordements qui se sont carbonisés ou caramélisés, il y a lieu de se référer au mode d'emploi du fabricant.

### ATTENTION!

Les poudres ou tampons abrasifs sont à exclure.

### 2.3.1 Réglage de la puissance

Le réglage de la puissance se fait en fonction du temps. Des phases de coupure succédant à des phases de fonctionnement à 100 %.



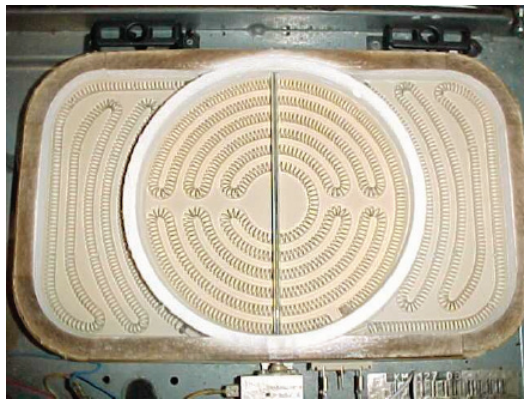
A puissance maximale, le corps de chauffe est presque tout le temps en service. En diminuant le réglage, on change le rapport des durées marche/arrêt.



### 2.3.2 Les organes chauffants

#### 2.3.2.1

#### Corps de chauffe rayonnants



Ce sont des corps de chauffe spécifiques aux foyers utilisés pour les plans de cuisson en vitrocéramique.

La chaleur est transmise également par rayonnement infrarouge et non plus uniquement par conduction comme c'est le cas pour les plaques massives en fonte. Le réglage de la température du foyer se fait par un régulateur d'énergie.

Tous ces foyers possèdent un thermostat de sécurité qui déclenche à 600°C.

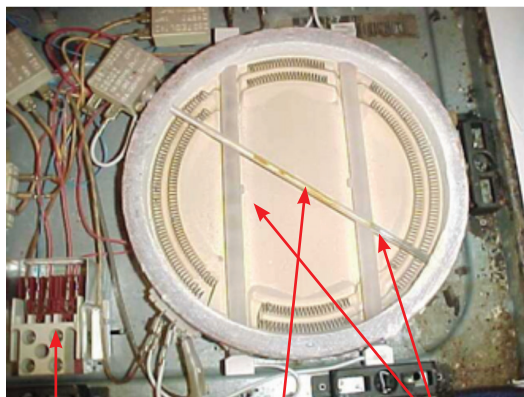


Les foyers sont équipés de une à deux résistances en fils spirales, fonctionnant indépendamment ou simultanément en fonction de la zone à chauffer.

On trouve également des corps de chauffe de plaques vitrocéramiques sous forme de bande en accordéon.

#### 2.3.2.2

#### Foyers à lampes halogènes



témoin de chaleur  
résiduelle

thermostat de surchauffe  
et de chaleur résiduelle

lampes halogènes

Dans ce type de foyer, on a remplacé les résistances par deux ou quatre lampes halogènes. Elles sont disposées dans un réflecteur qui concentre tous les infrarouges vers le haut. Le principal avantage de ces foyers est leur pleine diffusion de chaleur atteinte en quelques secondes et, inversement, lors du déclenchement une rapide diminution de la température (idéal pour saisir les viandes). Ils sont beaucoup plus rapides pour chauffer les quantités inférieures à un litre. Leur faible durée de vie fait que presque plus aucun fournisseur ne les propose.

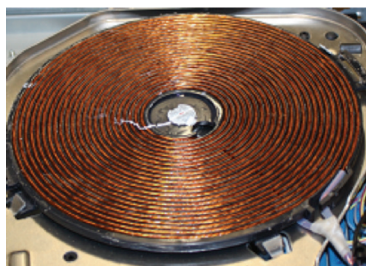
#### 2.3.2.3

#### Foyers mixtes

Dans ce système, le corps de chauffe à rayonnement traditionnel est combiné avec deux lampes halogènes.

En fonction de l'allure de la cuisson, les lampes halogènes s'allument et s'éteignent par séquences alors que la résistance continue de diffuser sa chaleur.

## 2.4 Les plaques à induction



La plaque à induction est composée d'une bobine plate en forme de spirale avec un condensateur raccordé en parallèle (circuit oscillant parallèle). Elle est placée sous un plan de cuisson en vitrocéramique. Le courant qui la traverse est à une fréquence de 20 à 100 kHz, ce qui génère un important champ magnétique.

Lorsqu'un ustensile en matière ferromagnétique (par exemple en fonte ou en acier émaillé) est exposé à ce champ magnétique, il s'y produit des courants induits et donc un échauffement. Cette chaleur est ensuite transmise au contenu de la casserole ou de la marmite ou d'un autre récipient. Seul le récipient chauffe.

Le plan de cuisson reste froid (attention toutefois, en cas d'utilisation prolongée, le plan de cuisson sera chauffé par conduction par le récipient).

Si aucun ustensile n'est posé sur la plaque (alimentée), la bobine d'induction et le condensateur qui forment un circuit oscillant parallèle, entrent en résonance (circuit LC parallèle = circuit bouchon). Le circuit est de ce fait traversé par un courant très faible, ce qui a pour avantage que le plan de cuisson reste pratiquement froid.

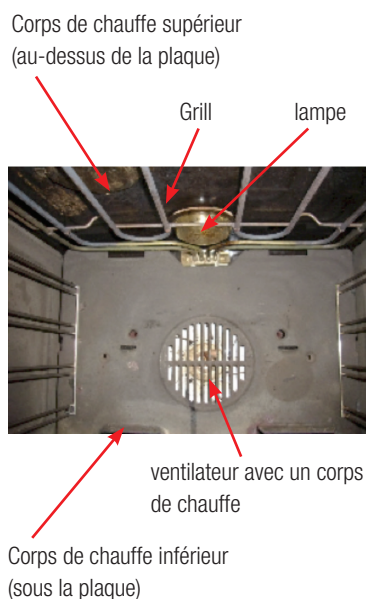
### Avantages

- une régulation rapide et souple de l'énergie, comme pour les brûleurs à gaz (pas de chaleur stockée),
- la montée de température est de 35 % plus rapide et la consommation d'énergie est de 20 % à 35 % plus faible qu'avec la plaque traditionnelle,
- seul l'ustensile est chauffé et non la plaque en verre. L'apport d'énergie est immédiatement stoppé lorsqu'on enlève l'ustensile du plan de cuisson.

### Inconvénient

- seuls les ustensiles ferromagnétiques sont utilisables (ceux en aluminium, cuivre, acier inox, verre et céramique ne sont pas appropriés à la cuisson par induction),
- prix élevé de la plaque.

## 2.5 Les fours

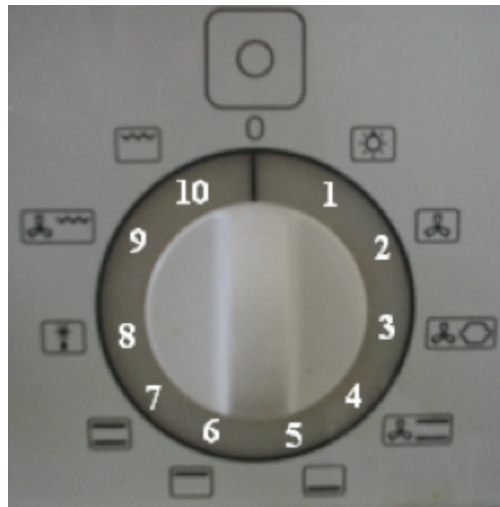


Le four fait un ensemble avec la cuisinière ou peut constituer un appareil indépendant. Comme appareil indépendant il offre surtout l'avantage d'être placé à hauteur de travail et peut être équipé d'un ventilateur pour l'aspiration de l'air vicié et des vapeurs du four.

Les fours ont une puissance nominale qui peut atteindre environ 3 kW.

Ils sont équipés d'un chauffage supérieur et inférieur, constitués par des barres chauffantes ou des corps de chauffe boudinés en fil Cr-Ni et protégés par une tôle.

Dans les anciens modèles, la puissance est réglée par un interrupteur à cames. Dans les modèles récents, c'est la température de l'enceinte du four qui est réglée au moyen d'un thermostat à tige ou à tube capillaire. La température est généralement réglable entre 50°C et 260°C.



Les fours modernes sont équipés à l'arrière d'une turbine de ventilation qui brasse l'air chaud dans l'enceinte du four. Souvent un corps de chauffe circulaire est placé devant de la turbine pour chauffer l'air.

Certains fours sont équipés de manière à permettre la combinaison de la chaleur tournante, plus la chaleur supérieure et inférieure et le grill.

Le principal avantage du four à air chaud est de pouvoir cuire et rôtir sur trois niveaux en même temps.

### Position du commutateur

- |  |  |
|--|--|
| 1 : que la lumière + ventilation pour évacuation de la chaleur résiduelle                                      | 5 : chauffage que par le corps de chauffe « bas »      |
| 2 : chauffage par chaleur « tournante »  | 6 : chauffage que par le corps de chauffe « haut »     |
| 3 : chauffage par chaleur « tournante » avec une température de réglage maximum en début de période de chauffe | 7 : chauffage des corps de chauffe « haut » et « bas » |
| 4 : chauffage par chaleur « tournante » + apports des corps de chauffe « haut » et « bas »                     | 8 : décongélation                                      |
|  | 9 : ventilateur + « grill »                            |
|  | 10 : uniquement « grill »                              |

Le nettoyage automatique du four (four autonettoyant) peut se faire de deux manières différentes :

### Par catalyse

Les parois de tôles d'acier émaillées sont recouvertes d'un revêtement spécial mat et rugueux (voir photo de la page précédente), qui renferme un composant (catalyseur) qui accélère le processus naturel de combustion.

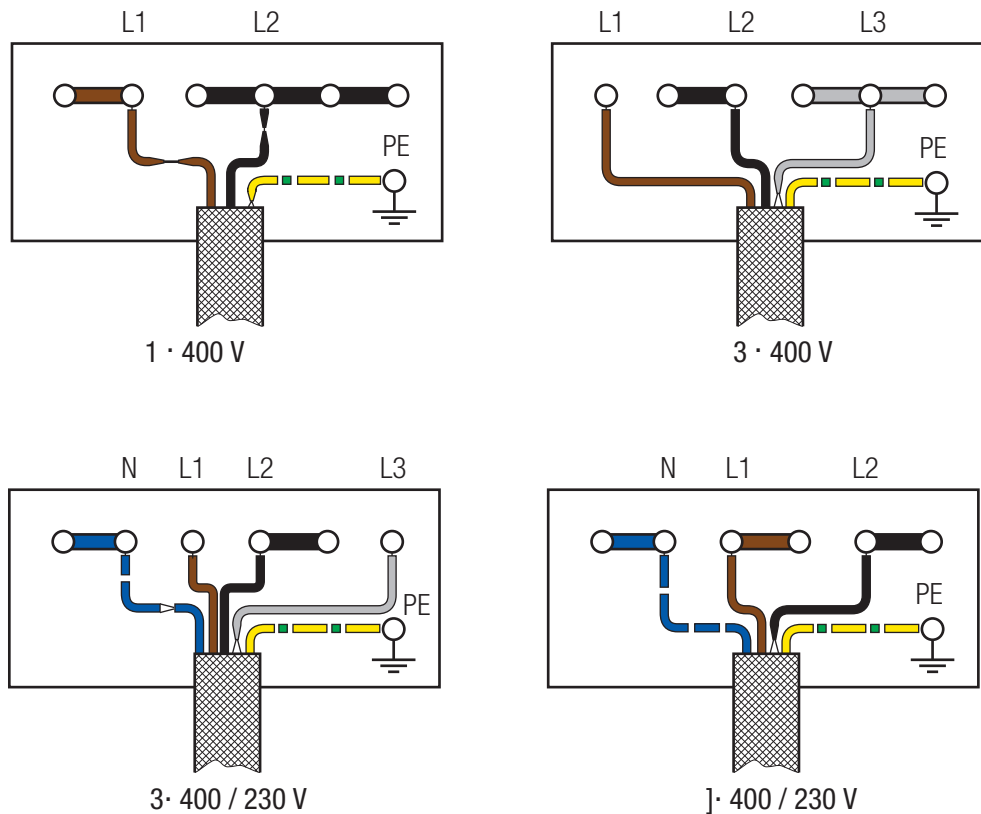
Le revêtement catalytique des tôles provoque un auto-nettoyage pendant l'utilisation du four, économisant ainsi temps et travail.

### Par pyrolyse

La chaleur dégagée (500°C) durant le nettoyage pyrolytique réduit en cendres les résidus collés contre les parois du four. Un simple chiffon humide « suffit » pour éliminer rapidement ces résidus.

Ce système nécessite une ventilation qui achemine l'air vicié vers le conduit d'évacuation extérieur. Il faut également une isolation plus épaisse du four. Cette dernière permet des économies durant la cuisson et le rôtissage qui correspond environ à l'énergie dont on a besoin pour le nettoyage (environ 5 kWh). Par mesure de sécurité, l'ouverture de la porte est bloquée aussi longtemps que la température est trop élevée.

## 2.6 Raccordement des cuisinières



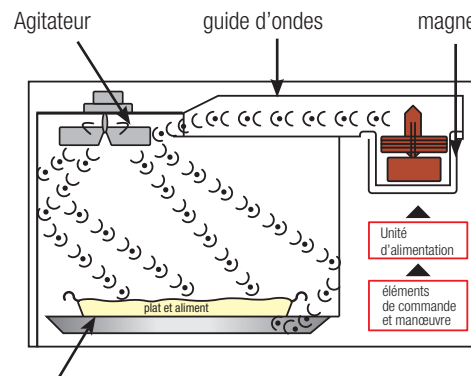
### Note

- Certaines cuisinières et fours nécessitent le raccordement du conducteur neutre pour le ventilateur, l'éclairage, la prise frontale, l'horloge et la commande.

### NIBT

- Les cuisinières électriques de plus de 18 kg sont considérées comme du matériel semi-fixe.
- Des parties combustibles placées dans le voisinage des cuisinières ne doivent pas être soumises à une température dépassant 85°C. Cette exigence est valable aussi bien en service normal qu'en cas d'anomalies prévisibles, y compris en cas de défaillances du dispositif de réglage.
- Si la cuisinière est placée dans une armoire, il faut installer un organe qui coupe l'alimentation des appareils producteurs de chaleur lorsque les portes ne sont pas totalement ouvertes.
- Lorsque le réchaud est séparé du four dans un agencement de cuisine, les parties électriques doivent être séparées du reste du meuble (p.e. rangement casseroles) par une plaque de séparation IP 2X.
- Les fours à chaleur tournante ne sont pas assimilés aux installations de chauffage à air pulsé.

## 2.7 Les fours à micro-ondes



plat pour la cuisson

Dans la cuisson par micro-ondes, la chaleur est produite à l'intérieur même des aliments. Les micro-ondes sont brassées par l'agitateur et réfléchies par les parois métalliques du four. Elles traversent sans échauffer les récipients de cuisson (verre, porcelaine terre cuite, plastique, papier) et elles agissent sur les molécules de graisse, de sucre et d'eau en les chauffant (la plupart des aliments contiennent 65 à 95 % d'eau).

Dès que les micro-ondes entrent en contact avec une substance organique, les molécules de cette dernière augmentent leur vibration. Il en résulte un frottement moléculaire et comme conséquence, un échauffement progressif de la substance organique.

### 2.7.1 Principe de fonctionnement

Le tube magnétron est la pièce essentielle de tout appareil à micro-ondes. C'est lui qui produit les micro-ondes (de 2,45 GHz) et les transmet à travers un guide d'ondes jusqu'à l'antenne agitatrice qui assure la distribution homogène des ondes dans l'enceinte de cuisson.

Un ventilateur refroidit les parties soumises à une action thermique, ainsi que le magnétron qui transforme une partie de l'énergie électrique absorbée en rayonnement électromagnétique.

Selon les modèles, des agitateurs d'ondes ou des plateaux tournant produisent une distribution des ondes la plus uniforme possible dans le four.

Le four à micro-ondes est équipé de sécurités qui empêchent la mise en marche si la porte du four est ouverte ou si la température du magnétron est trop élevée.

La puissance de l'appareil est généralement réglable en continu de 20 à 100 %. Une minuterie permet le réglage du temps de chauffage.

Certains fours, équipés d'un gril électrique, permettent de rôtir et de gratiner les mets.

### Avantages

- économie d'énergie ;
- économie de temps ;
- économie de vaisselle ;
- pas d'aliments brûlés ;
- lors de la cuisson il y a formation de sels minéraux naturels. Parce que rien n'est trop cuit, les vitamines, les minéraux et les substances aromatiques restent dans les aliments.

### Inconvénients

- il ne faut jamais faire fonctionner le four à micro-ondes à vide (destruction du magnétron) ;
- il ne faut jamais mettre d'objets en aluminium ou en autres matières conductrices dans l'enceinte du four. Apparition de tensions induites importantes pouvant détruire le magnétron ;
- pour les mêmes raisons, pas de vaisselle avec des motifs dorés ou argentés ;
- ne pas chauffer d'œuf (matière non homogène).

**2.9 Questionnaire**

1. Indiquer l'ordre de grandeur de la puissance d'une cuisinière à usage domestique :  
\_\_\_\_\_
2. Indiquer la position du commutateur sur laquelle on doit tester une plaque de cuisson massive :  
\_\_\_\_\_
3. Indiquer la manière dont les fabricants différencient une plaque standard d'une plaque rapide :  
\_\_\_\_\_
4. Pour un plan en vitrocéramique, citer :
  - a) la température de déclenchement du thermostat de sécurité : \_\_\_\_\_
  - b) la température à laquelle la lampe de contrôle de la chaleur résiduelle s'éteint : \_\_\_\_\_
  - c) la température limite de destruction du plan de cuisson : \_\_\_\_\_
5. Pourquoi un ustensile à fond mat et de couleur foncée permet-il d'obtenir un meilleur rendement sur un plan vitrocéramique ?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
6. Un plan de cuisson en vitrocéramique est muni de foyers radiants et de plaques à induction. Indiquer le système à utiliser de préférence dans les cas suivants
  - a) bouillir un demi litre d'eau : \_\_\_\_\_
  - b) griller un steak : \_\_\_\_\_
  - c) mijoter une choucroute : \_\_\_\_\_
7. Expliquer le principe de fonctionnement d'une plaque à induction :  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
8. Indiquer sur quelle grandeur (physique) de réglage on agit en choisissant une position d'un commutateur
  - pour une plaque en fonte : \_\_\_\_\_
  - pour une plaque halogène : \_\_\_\_\_
9. D'après quel schéma doit-on raccorder une cuisinière ayant les caractéristiques suivantes :
  - a) plaques de cuisson 400 V, réseau 3x400/230 V : \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
  - b) plaques de cuisson 230 V, réseau 3x400/230 V : \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
10. Quel est l'organe de commande qui règle la température d'un four ?  
\_\_\_\_\_

11. Citer l'avantage du four à chaleur tournante :

---

12. Indiquer les deux systèmes de fours autonettoyants :

---

13. Quels sont les avantages du four à micro-ondes ?

---

14. Indiquer, pour un four à micro-ondes, les valeurs de :

a) la fréquence utilisée : \_\_\_\_\_

b) la tension de fonctionnement du magnétron : \_\_\_\_\_

c) la puissance : \_\_\_\_\_

15. Quel est le rendement d'une plaque 1,2 kW qui permet d'élever de 65°C 1,5 litre d'eau en 12 minutes ?

---

16. Quel est le type de prise à utiliser pour une cuisinière électrique avec four ?

---

17. Quelle est la section minimale des fils d'alimentation d'une cuisinière 8,5 kW en raccordement fixe ?

---

18. Quelle est la valeur affichée par un ohmmètre lors de la mesure d'un corps de chauffe 1,5 kW / 230 V si sa température de service est de 350°C ?

---

19. Quelle est la puissance réelle d'une plaque 2 kW / 230 V ainsi que la chute de tension en ligne lorsqu'elle est la seule plaque utilisée, sachant que la canalisation a une longueur de 35 m et est composée de fils tirés dans un conduit enrobé dans du béton (température ambiante de ne dépassant pas 30°C) ?

---

---

20. Pourquoi n'est-il pas nécessaire de mettre le commutateur d'une plaque halogène sur la position minimale pour s'assurer de son fonctionnement ?

---

21. Pourquoi n'est-il pas nécessaire de vérifier l'ordre des phases (champ tournant) sur le bornier d'une cuisinière triphasée avec ventilateur ?

---





## Chapitre 3 CHAUFFE-EAU ÉLECTRIQUES

### 3.1 Généralités

Ce sont des appareils qui transforment l'énergie électrique en chaleur pour élever la température de l'eau.

On distingue différents chauffe-eau par rapport à la contenance en eau (de 10 à plus de 300 litres), par leur forme (muraux, à colonnes, à encastrer) et par la technique utilisée pour chauffer l'eau.

### 3.2 Construction

Le réservoir en acier est protégé contre la corrosion par un émail spécial cuit à 890°C. Le revêtement acquiert ainsi une très grande dureté et fait corps avec le métal qui est ainsi protégé contre les eaux agressives.

Aucun émail n'est absolument exempt de minuscules pores. Pour éviter tout risque de perforation, on incorpore dans les réservoirs des anodes en magnésium (à remplacer lorsqu'on détartre le réservoir) ou parfois en titane.

Lorsque le chauffe-eau est mis en service, ce métal se dépose dans les pores qui se trouvent ainsi automatiquement bouchés par voie électrolytique. Ceci prolonge très sensiblement la vie des chauffe-eau.

On construit également des réservoirs en acier inox.

Le réservoir doit résister à une pression de  $6 \cdot 10^5$  Pa. La pression d'essai est de  $12 \cdot 10^5$  Pa.

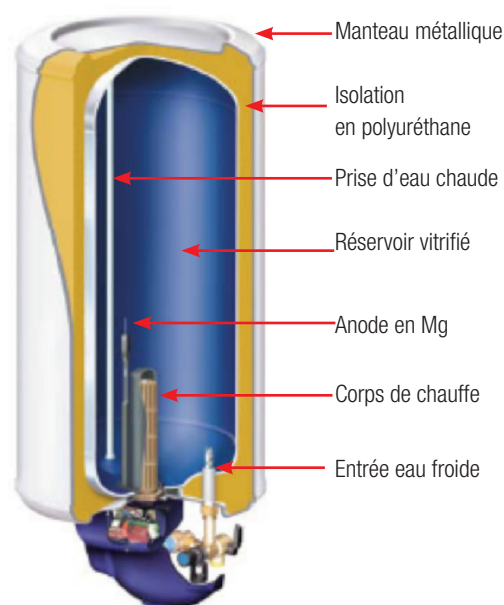
Une flasque (bride) vissée ferme l'ouverture à la base du réservoir. Cette flasque sert également de support pour le ou les éléments de chauffe qui peuvent être retirés sans vider le réservoir du chauffe-eau. Un tube de diamètre plus petit y est également fixé et sert de protection pour le thermostat.

Pour éviter la déperdition de chaleur, un calorifuge en mousse de polyuréthane expansé entoure le réservoir. Dans les anciens chauffe-eau, on utilisait du liège concassé et imprégné ou de la laine minérale.

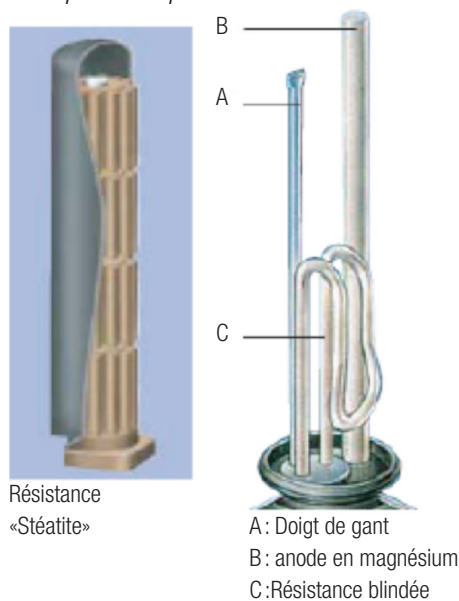
Un ou plusieurs éléments chauffants formés d'un fil résistant en Ni-Cr spiralé et monté sur supports en stéatite sert de chauffage. Le tout étant logé dans les tubes fixés dans la flasque.

Certains fabricants utilisent des résistances blindées comme corps de chauffe.

Coupe d'un chauffe-eau mural



Exemple de corps de chauffe

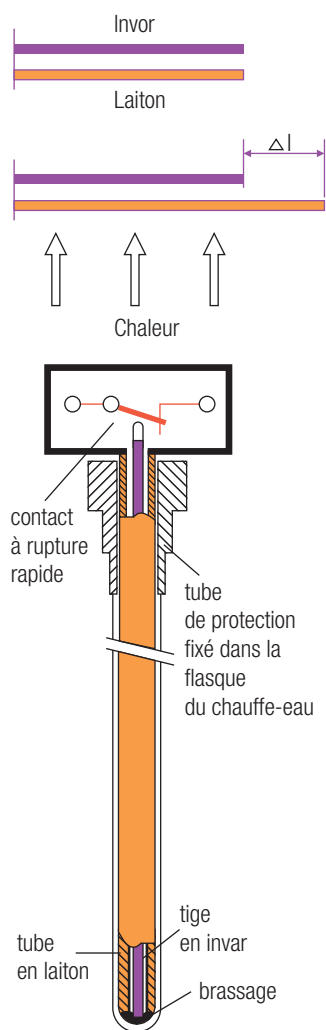


Avec ces résistances, la transmission directe de la chaleur et les extrémités froides à l'extérieur de la flasque procurent un meilleur rendement. La forme donnée à la résistance blindée permet de chauffer près de 100 % du volume du réservoir. L'étanchéité à l'air supprime l'oxydation des résistances, d'où une très longue durée de vie. Seul inconvénient, pour changer ces corps de chauffe, il faut vidanger le chauffe-eau. C'est l'occasion de détartre si nécessaire le réservoir.

Pour régler la température de l'eau, on utilise un thermostat plongeur « tout ou rien ».

Les petits chauffe-eau (10 à 30 litres), ainsi que certains chauffe-eau avec réglage externe, sont équipés d'une sonde thermique (thermostat à tube capillaire).

### 3.3 Le thermostat plongeur



Principe de construction d'un thermostat

Le thermostat plongeur est basé sur le principe de la différence d'allongement de deux métaux ayant un coefficient de dilatation différent (invar et laiton). Soumis à la même température, il se produit pour les deux métaux un allongement inégal.

Cette propriété est mise en valeur pour actionner un contact à rupture rapide, par l'intermédiaire d'un levier, qui déclenche ou enclenche le circuit d'alimentation ou la commande.

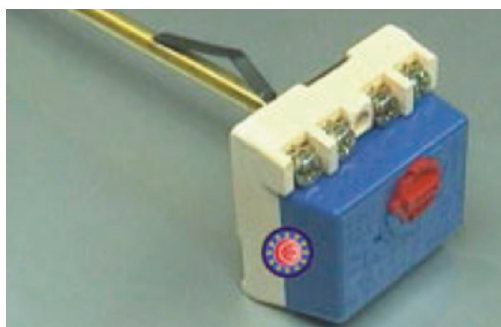
Le thermostat est un appareil de réglage qui peut éventuellement se détériorer. Pour éviter les conséquences d'une surchauffe inadmissible, on doit utiliser une seconde sécurité électrique pour les chauffe-eau sous pression.

La 2<sup>e</sup> sécurité électrique raccordée sur les fils d'alimentation coupe le circuit aussitôt que la température de l'eau devient critique. Cette sécurité est généralement montée dans le même boîtier que le thermostat de réglage et fonctionne de manière totalement indépendante.

Un bimétal capte la température sur le tube du thermostat. Lorsque cette dernière devient critique (env. 120°C), le bimétal ouvre le circuit électrique ce qui coupe l'alimentation, puis il reste ouvert même lorsque la température a retrouvé une valeur admissible.

Dans certains thermostats, on peut réarmer le contact du bimétal en pressant sur un bouton et ainsi fermer le circuit. Il faut généralement ouvrir le couvercle de protection avant de pouvoir actionner ce poussoir.

La lettre F est apposée sur la plaquette signalétique du thermostat : lorsque ce dernier est équipé des deux sécurités.



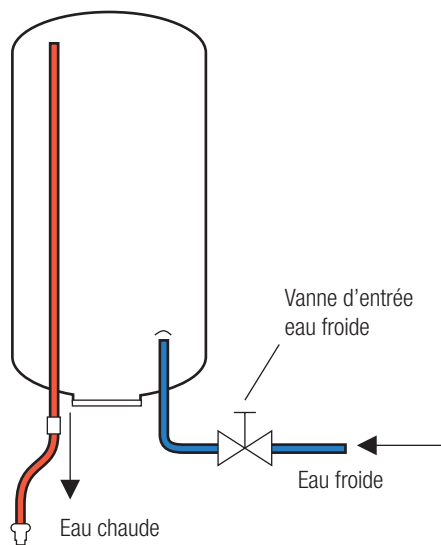
Il est également possible d'installer un second thermostat indépendant et pré-réglé. Il est raccordé en série avec le thermostat de réglage et fait office de thermostat de sécurité.

Le réglage du thermostat ne devrait pas dépasser la température de 55°C. Au-delà de cette température, tant l'entartrage que l'agressivité de l'eau augmentent de manière exponentielle.

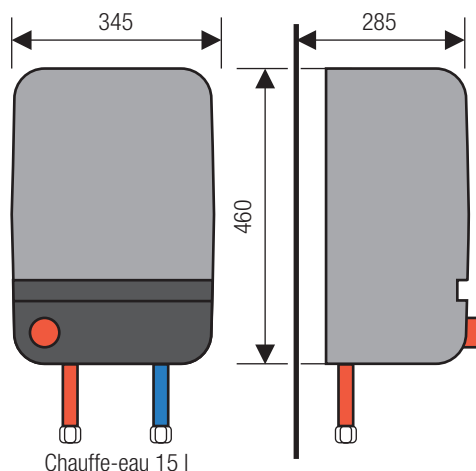
De plus, aux températures élevées, les pertes thermiques augmentent particulièrement dans les tuyaux.

Pour prévenir des risques de légionellose qui prolifèrent à des températures plus basses, il ne faudrait pas diminuer ce réglage en-dessous de 55°C ou alors hebdomadairement créer une élévation de la température à 60°C.

### 3.4 Les chauffe-eau à écoulement libre



Chauffe-eau à écoulement libre



Chauffe-eau 15 l

Dans un chauffe-eau à écoulement libre, l'eau est toujours à la pression atmosphérique car le tube de sortie n'est jamais fermé, il n'y a donc aucun risque de surpression lors d'une surchauffe éventuelle. L'installation sanitaire de ces chauffe-eau est très simple. Le robinet d'eau chaude se trouve dans la conduite d'amenée de l'eau froide. C'est l'entrée de l'eau froide dans le réservoir qui chasse l'eau chaude à l'extérieur.

L'utilisation d'un tel chauffe-eau est limitée à une seule prise d'eau chaude.

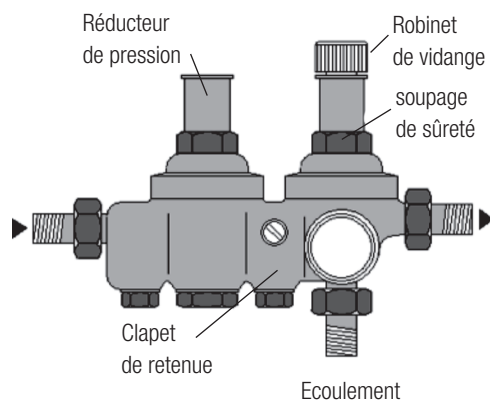
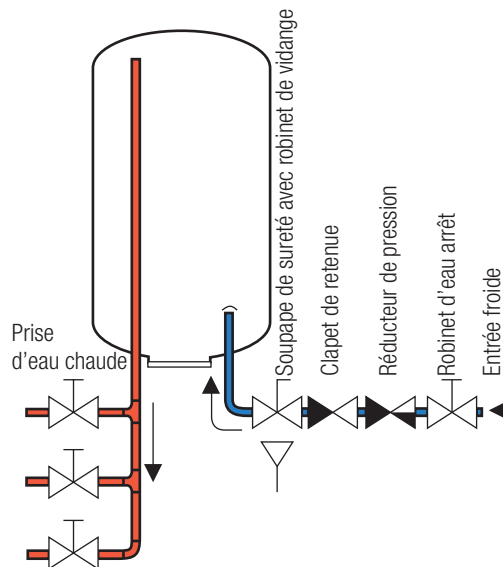
Leur utilisation se limite aux petits chauffe-eau de 5 à 30 litres pour alimenter les lave-mains.

On constate qu'en ouvrant le robinet d'eau, il se produit un retard de quelques secondes avant que l'eau chaude ne s'écoule. De même, en fermant le robinet, il faut attendre quelques secondes avant que l'écoulement ne soit terminé. Ceci provient de l'effet de siphonage causé par la tension superficielle de l'eau.

Lors du chauffage, l'eau dans le réservoir se dilate de sorte que 3 à 4 % du volume du chauffe-eau s'écoule par la sortie d'eau chaude.

Ces petits chauffe-eau sont généralement raccordés directement au réseau électrique.

### 3.5 Les chauffe-eau raccordés sous pression



Lorsque l'installation sanitaire comporte plusieurs prises d'eau chaude, le chauffe-eau les alimentant doit être du type « sous pression ».

Le réservoir est soumis à la même pression que celle du réseau d'eau froide.

Dans ce cas, son raccordement à l'eau froide nécessite des appareils de protection hydrauliques sur la conduite d'arrivée de l'eau. Ce sont :

1. le réducteur de pression (manodétendeur) qui abaisse la pression de la distribution d'eau froide à env.  $6 \cdot 10^5$  [Pa]. Il amortit les éventuels à-coups de pression (coups de bélier) du réseau d'eau. Il n'est toutefois pas nécessaire s'il y en a déjà un d'installer sur le tuyau d'introduction d'eau du bâtiment.
2. le clapet de retenue qui évite le retour de l'eau chaude dans la conduite d'alimentation d'eau froide lors d'une surpression dans le chauffe-eau. Il évite également la vidange du chauffe-eau lors d'une interruption de l'alimentation en eau froide (évite que les corps de chauffe fonctionnent à vide et évite qu'une personne travaillant sur l'eau froide se fasse brûler par un retour d'eau chaude dans la canalisation d'eau froide).
3. la soupape de sûreté qui limite la pression à l'intérieur du réservoir. Cette dernière s'ouvre lorsque la pression admissible est dépassée et permet à l'eau sous pression de s'écouler sans risque d'explosion du chauffe-eau.
4. un robinet de vidange (parfois combiné avec la soupape de sûreté) qui permet de vider l'eau contenue dans le chauffe-eau. Ces sécurités hydrauliques sont complétées par un limiteur de température (thermostat de réglage) et d'un dispositif de protection contre la surchauffe (thermostat de sécurité).

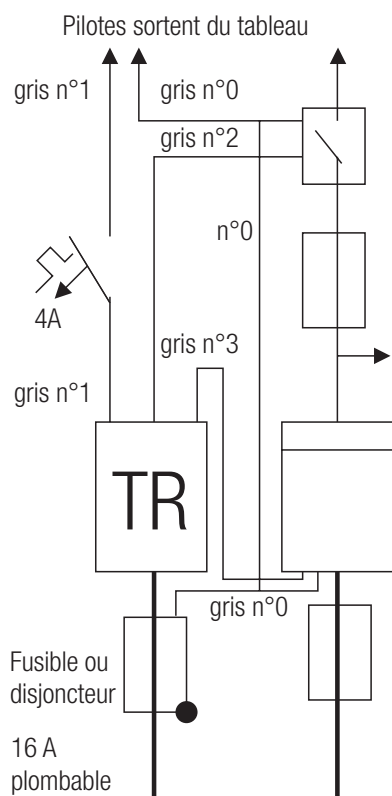
*Types de chauffe-eau à accumulation en fonction de leur contenance*

Type de chauffe-eau	Contenance en litres											
	10	15	30	50	75	100	120	150	200	250	300	400
muraux	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
à encastrer				X	X	X	X					
en placard									X	X	X	X
horizontaux						X	X	X	X			
à colonne									X	X	X	X

Les petits chauffe-eau sont à alimenter en 230 V monophasé. Les unités plus importantes sont prévues pour un raccordement triphasé. Les puissances sont en rapport avec la contenance.

Le distributeur détermine dans chaque cas la catégorie de puissance et le temps de fonctionnement du chauffe-eau, également lors du remplacement ou de l'extension d'une installation existante.

*Selon les PDIE*



*repérage des fils pilotes*

### 63.2 Chauffe-eau domestique à accumulation, fonctionnant en heures creuses

63.21 La durée de chauffe est de 6 heures, sauf dispositions particulières de l'exploitant de réseau. Les puissances maximales pour une température d'utilisation de l'eau à 60°C sont les suivantes :

Contenances litres	Puissance W
50	800
100	1600
120	2000
160	2600
200	3200
300	4700
400	6200
500	7700
600	9200
800	12000
1000	15000

63.31 Le raccordement d'un chauffe-eau instantané peut être soumis à des dispositions particulières de l'exploitant de réseau.

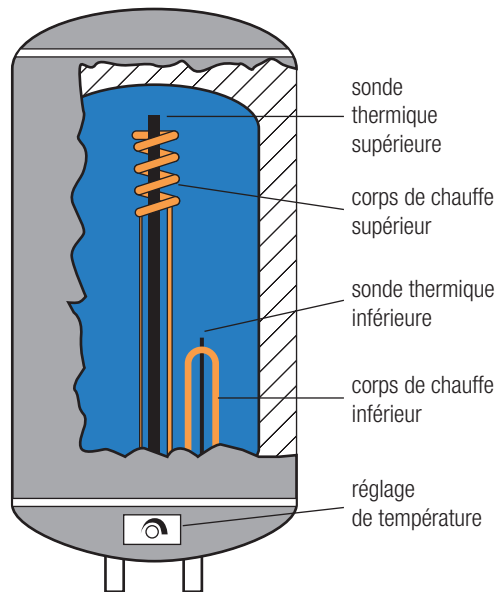
*Note*

$$1 \text{ bar} = 1 \cdot 10^5 \text{ Pa (Pascal)}.$$

*NIBT*

- Tous les appareils producteurs d'eau chaude doivent être protégés contre les températures excessives. Pour cela, la protection doit être assurée au moyen d'un dispositif sans réenclenchement automatique fonctionnant indépendamment du thermostat.
- Les dispositifs de protection contre les surpressions et autres dispositifs de sécurité du système hydraulique doivent être conformes aux prescriptions du service des eaux.
- Au cas où la température d'un chauffe-eau peut atteindre des valeurs susceptibles d'enflammer des matériaux voisins, il doit être placé à une distance suffisante (4 ou 8 cm) permettant une évacuation sûre de la chaleur. S'il n'est pas possible de ménager une distance suffisante, les parties combustibles doivent être revêtues de matériaux incombustibles et calorifuges. L'écartement entre le chauffe-eau et ce revêtement sera partout d'au moins 1 cm.
- Au cas où un chauffe-eau est entouré de tous côtés par des parties combustibles, il faut assurer au moyen d'orifices de ventilation une circulation d'air suffisante.

### 3.6 Les automates à eau chaude



Dans la plupart des cas, les besoins quotidiens en eau chaude, et donc la grandeur du chauffe-eau, peuvent être évalués aisément pour assurer un certain confort. Pourtant, dans certains cas, la demande en eau chaude varie.

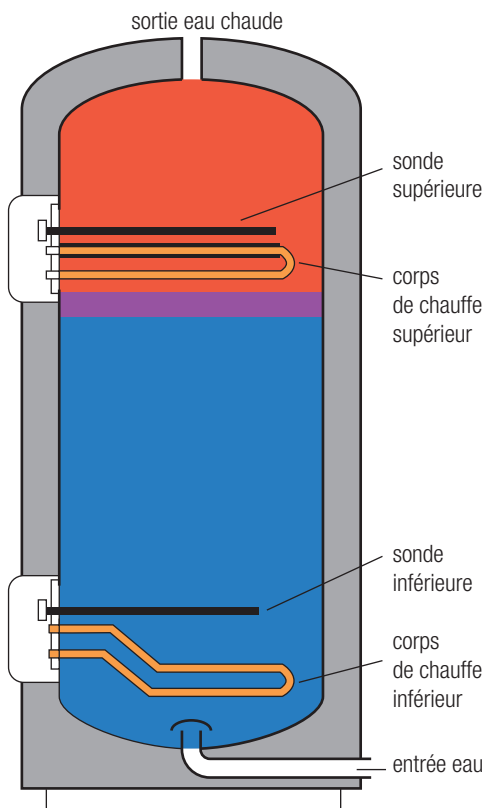
Par exemple :

- un salon de coiffure peut avoir une fois par semaine une consommation deux à trois fois plus importante que les autres jours :
- lors du remplacement d'un chauffe-eau devenu trop petit et que la place manque pour un appareil plus grand.

Dans tous ces cas, l'automate à eau chaude est l'appareil idéal.

#### 3.6.1 Principe de fonctionnement

*ci-dessous : automate à eau chaude > 200 litre*



A la fin de la période de chauffe nocturne à bas tarif, un corps de chauffe électrique complémentaire entre automatiquement en fonction, au tarif normal de jour, dès que la température de l'eau de la partie supérieure du réservoir tombe en-dessous de 55°C.

La consommation d'électricité au tarif de jour se limite ainsi aux pointes de consommation d'eau chaude.

Pour les chauffe-eau à colonne de 200 litres et plus, on prévoit généralement une commande qui permet le choix des fonctions suivantes : position économique, position normale, position automatique.

Dans la position normale, la totalité du volume disponible est chauffée pendant la nuit au tarif réduit.

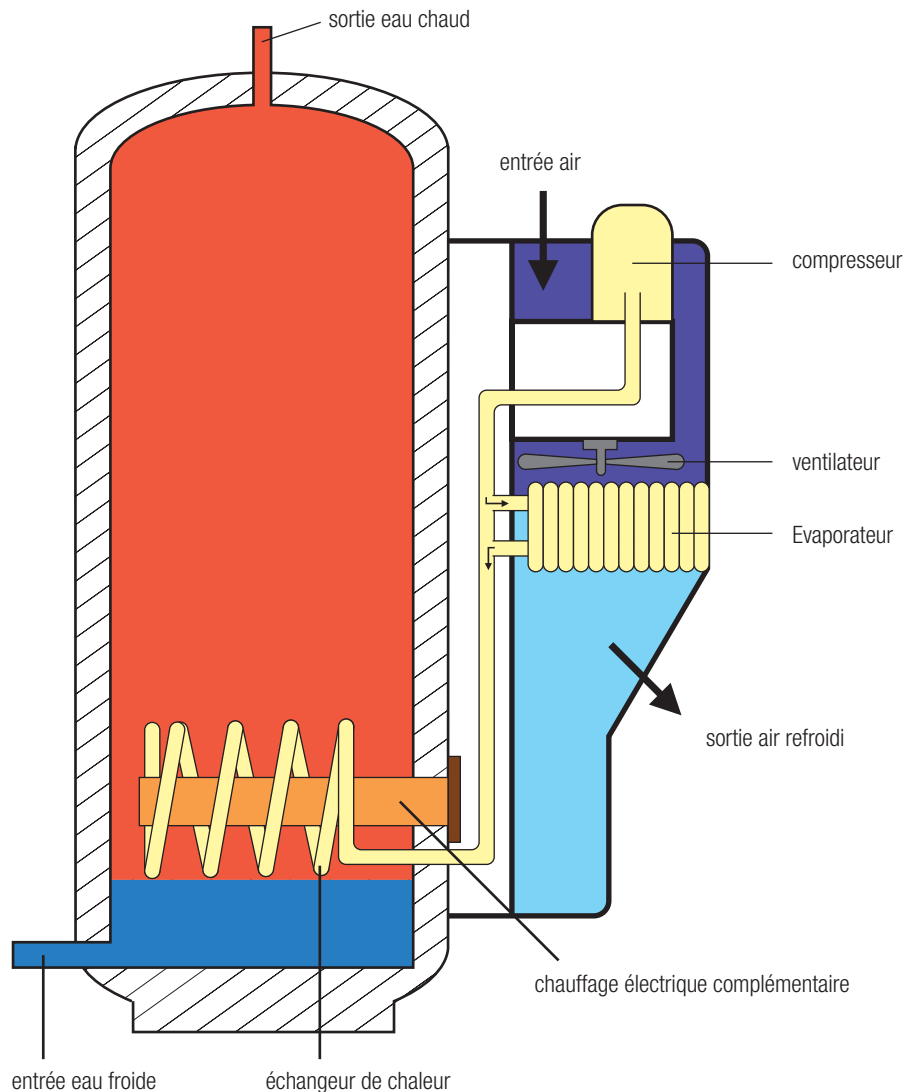
Dans la position automatique, la totalité du volume est chauffée de nuit par le corps de chauffe inférieur. Pendant la journée, aussitôt que les 2/3 du volume d'eau ont été utilisés, le corps de chauffe supérieur maintient le tiers restant en température au tarif diurne. Cette fonction ne devrait être enclenchée qu'en cas de consommation exceptionnelle d'eau chaude.

### 3.7 Les chauffe-eau à pompe à chaleur

La pompe à chaleur prélève la chaleur non valorisée de l'air ambiant et la cède, par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur, au contenu du chauffe-eau.

Les 66 % de l'énergie utile pour le chauffage de l'eau sanitaire sont ainsi prélevés à l'air.

Lorsque la limite de température ambiante encore économiquement valorisante est franchie, un thermostat pré-réglé commute automatiquement le mode pompe à chaleur sur le chauffage électrique complémentaire.



Pour que le chauffe-eau pompe à chaleur puisse être économiquement utilisé, il doit être installé dans un lieu où :

- il est souhaité un effet de refroidissement de l'air ;
- il circule suffisamment d'air frais,
- de la chaleur perdue peut être valorisée,
- le lieu d'installation est à l'abri du gel.

#### Note

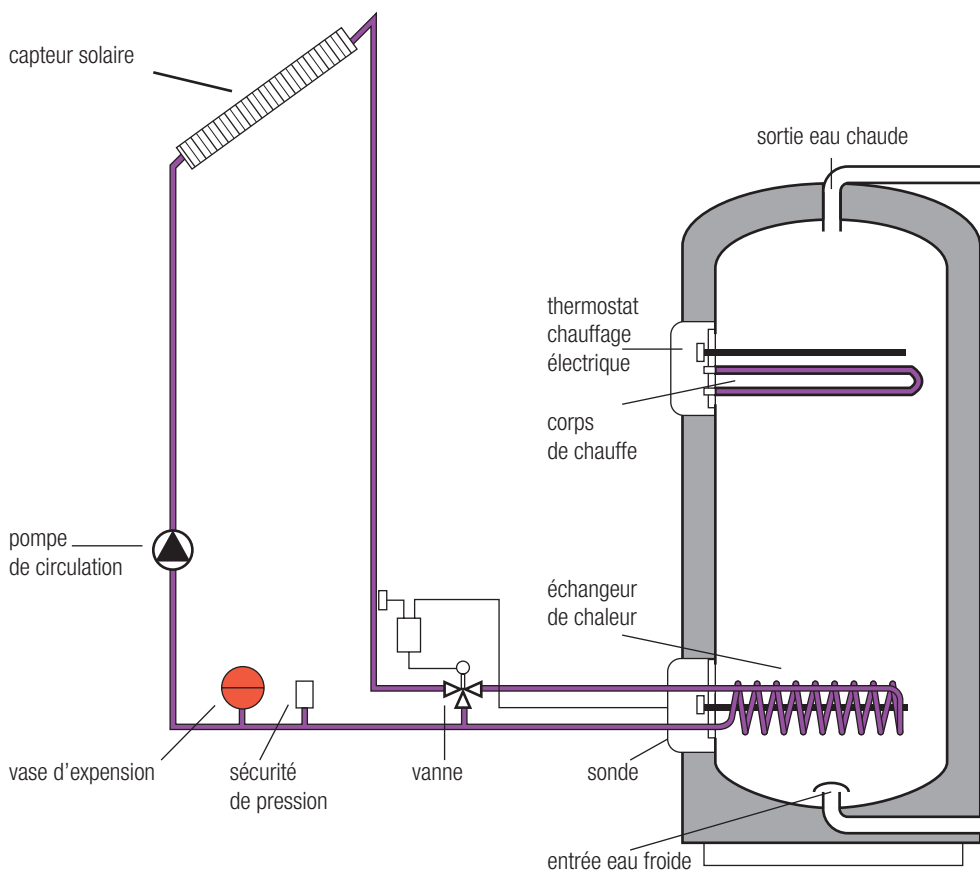
- *d'autres types de pompe à chaleur peuvent être utilisés selon le même principe.*

### 3.8 Les chauffe-eau solaires

Une installation solaire pour la production d'eau chaude permet d'économiser, pour une maison familiale, jusqu'à 3000 kWh par an, avec une surface de capteurs de 4 à 6 m<sup>2</sup>.

Le chauffe-eau est conçu pour utiliser en priorité l'énergie solaire. Il est de ce fait équipé d'un échangeur de chaleur dans la partie inférieure du réservoir pour chauffer (ou préchauffer selon les conditions d'ensoleillement) tout le volume d'eau disponible.

En cas de manque de soleil, ou si un soutirage important a vidé plus des 2/3 de l'eau chaude disponible, le maintien en température du tiers du volume supérieur est assuré par un corps de chauffe électrique.



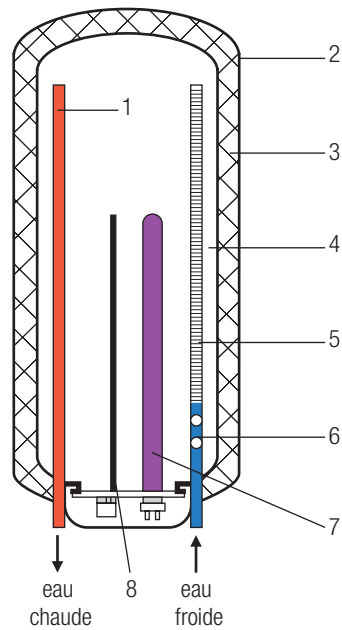
### 3.9 Les chauffe-eau instantanés

Il s'agit de petit chauffe-eau très puissant qui chauffe l'eau à mesure qu'on l'utilise sans en stocker.

Le raccordement d'un chauffe-eau instantané peut être soumis à des dispositions particulières de l'exploitant de réseau ou simplement interdit.



**3.10**  
**Questionnaires**



1. Compléter la légende du dessin ci-contre :

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_
4. \_\_\_\_\_
5. \_\_\_\_\_
6. \_\_\_\_\_
7. \_\_\_\_\_
8. \_\_\_\_\_

2. Citer dans l'ordre, depuis l'arrivée d'eau froide, les éléments hydrauliques nécessaires pour un chauffe-eau sous pression :

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

3. Quelle est la fonction de l'anode de magnésium se trouvant à l'intérieur de la cuve ?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

4. A quelle valeur maximale peut-on ajuster le réducteur de pression et pourquoi ?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

5. A quelle pression d'essai est soumise la cuve d'un chauffe-eau ?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

6. Citer les matières utilisées pour la confection des cuves :

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

7. Quelle est la différence entre un chauffe-eau sous pression et à écoulement libre ?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

8. Expliquer le principe de fonctionnement d'un thermostat de chauffe-eau :

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

9. Comment peut-on reconnaître qu'un thermostat est équipé de la deuxième sécurité ?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

10. A quelle température maximale devrait être réglé le thermostat d'un chauffe-eau, et pour quelles raisons ?

---

11. A quelle température minimale devrait être réglé le thermostat d'un chauffe-eau, et pour quelles raisons ?

---

12. Indiquer les conséquences d'un entartrage trop important :

---

---

13. Quels sont les types de corps de chauffe utilisés dans les chauffe-eau et quels sont les avantages de l'un par rapport à l'autre ?

---

14. Quelle est la fonction du clapet de retenue ?

---

---

15. Quelle est la fonction de la soupape de sûreté ?

---

16. Pourquoi les dispositifs de sécurités hydrauliques ne sont-ils pas nécessaires sur le chauffe-eau à écoulement libre ?

---

17. Combien d'eau chaude à 39 [°C] peut-on obtenir, si on dispose d'un chauffe-eau de 200 litres d'eau à 58 [°C]. La température du réseau d'eau froide est de 8 [°C] ?

---

---

18. Citer les avantages d'un automate à eau chaude –par rapport à un chauffe-eau normal :

---

19. Décrire le fonctionnement de l'automate à eau chaude :

---

---

20. Quelle est la distance minimale entre un chauffe-eau réglé à 55°C et une partie combustible du bâtiment ?

---

---

---

21. Comment doivent être raccordés les 6 corps de chauffe d'un chauffe-eau de 6 kW si leur résistance (à chaud) est de 13,225 ohms ?

---



---

22. Quel est le défaut d'un chauffe-eau 6 kW qui ne génère que 12 impulsions en 192 secondes à un compteur dont la constante est de  $75 \cdot (\text{impulsions} \cdot \text{kWh}^{-1})$  ?

---



---

23. Quel est le défaut d'un chauffe-eau qui donne l'impression à son utilisateur qu'il y a de semaines en semaines de moins en moins d'eau chaude à disposition ?

---



---

24. Quelle est la section minimale des fils (méthode de référence B2) qui alimentent un chauffe-eau 6 kW dont la canalisation est protégée par un coupe-surintensité de 20 A ?

---



---

25. Comment se répartit l'eau en fonction de la température dans un chauffe-eau 300 litres dans lequel on a déjà utilisé 100 litres d'eau en cours de journée ?

---



---

26. Un client se plaint que son chauffe-eau n'a pas chauffé durant la nuit. Vous contrôlez l'alimentation triphasée qui est en ordre. Citer deux autres probabilités de panne :

---



---

27. Quelle est la quantité d'énergie utile pour élever 100 litres d'eau de 15 à 55°C ? \_\_\_\_\_

Quelle est la quantité d'énergie utile pour élever 100 kg d'eau de 15 à 35°C ? \_\_\_\_\_

Quelle est la masse finale d'eau si on additionne ces deux quantités ? \_\_\_\_\_

Avec la même quantité d'énergie (totale), de combien de degrés pourrait-on élever la température de la masse totale du liquide ? \_\_\_\_\_

Quelle est la température finale du mélange ? \_\_\_\_\_

28. Mêmes questions avec 200 litres à 60°C et 100 litres à 15°C :

---



---



## Chapitre 4 RÉFRIGÉRATEURS

Le réfrigérateur a pour but la conservation des aliments à basse température. Le froid permet de garder les denrées périssables fraîches plus longtemps (ralentissement de l'activité des bactéries).

À une température de 4 à 5°C, la conservation est de quelques jours et elle atteint quelques mois à -18°C.

### 4.1 Généralités

L'effet du froid provient d'un déplacement de la chaleur. Tout corps, aussi froid qu'il apparaît, contient de la chaleur (l'absence de chaleur implique une température de 0 K). Refroidir un corps consiste à lui enlever de l'énergie thermique pour la transmettre à un autre qui s'échauffe.

Lorsqu'on comprime de l'air ou un gaz, cette compression s'accompagne d'un accroissement de chaleur (pompe à vélo). L'énergie dépensée pour accomplir cet effort s'est en partie transformée en chaleur. Si on décomprime brusquement, il y a « détente » du gaz ou de l'air avec un brusque déplacement de chaleur, d'où un froid relatif (cartouche « Kisag » pour faire de la crème fouettée).

L'échange de chaleur entre un corps chaud et un corps froid peut se faire avec ou sans changement de leur état physique.

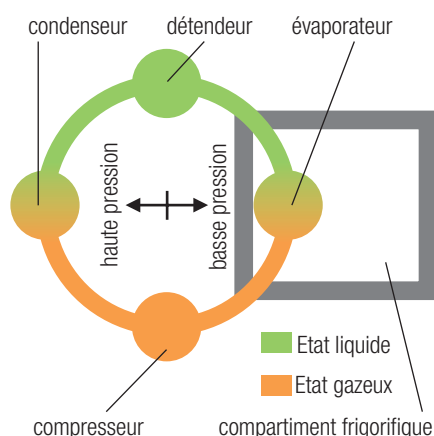
Le phénomène de transformation qui absorbe le plus de joules est le changement d'état d'un corps par fusion ou vaporisation.

Pour les réfrigérateurs, on utilise des corps dont la température d'évaporation à la pression atmosphérique normale est très basse (pour certains, au-dessous de 0°C).

Ces corps sont appelés fluides frigorigènes.

Quel que soit le type d'appareil frigorifique à fluide, la production du froid résulte des changements d'état du fluide frigorigène suivant un cycle continu de transformation : évaporation – condensation, qui s'opèrent dans les éléments du circuit frigorifique de l'appareil.

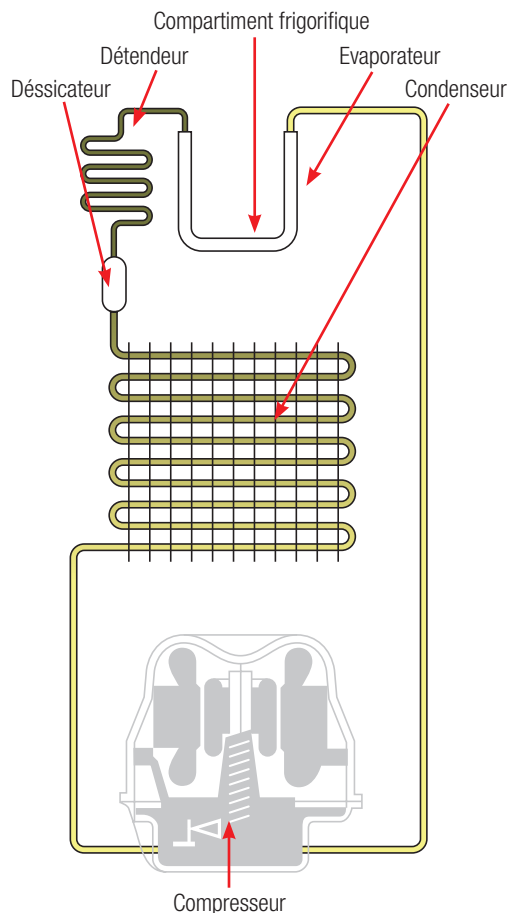
### 4.2 Les réfrigérateurs à compresseur



Les armoires frigorifiques à compresseur sont les plus utilisées.

Le fluide frigorigène à l'état gazeux est comprimé dans le compresseur. A sa sortie, l'agent frigorigène comprimé et chaud parvient au condenseur. Dans celui-ci, la chaleur se transmet à l'air ambiant plus froid par convection et le fluide se liquéfie peu à peu. Le liquide, alors à haute pression, traverse le détendeur dans lequel il est décomprimé pour ensuite pénétrer dans l'évaporateur où il s'évapore.

Pour ce faire, il a besoin de chaleur. Il la prend dans l'enceinte de l'armoire et aux produits à réfrigérer qui voient leur température s'abaisser. A la sortie de l'évaporateur, le fluide frigorigène se présente à l'état gazeux sous basse pression, il est aspiré par le compresseur et le cycle recommence.



Le fluide frigorigène employé actuellement est un azéotrope (par exemple : 50 %  $C_2HF_5$  et 50 % de  $C_2H_3F_3$ )

Le groupe moteur-compresseur est hermétique et du type rotatif.

Le fluide frigorigène et l'huile de lubrification circulent dans les bobinages et le rotor, ce qui permet un refroidissement du moteur.

Le détendeur est un tube capillaire d'une longueur relativement importante (env. 1,5 m) qui, par ses pertes de charge, fait fortement diminuer la pression du fluide.

Dans les réfrigérateurs à compression, on prévoit dans le circuit de l'agent frigorigène un dessiccateur afin de garantir un fonctionnement absolument sûr. Il s'agit d'une capsule remplie d'un produit granulé (chlorure de calcium, alumine ou gel de silice). Le dessiccateur absorbe l'humidité qui pourrait se trouver dans l'agent frigorigène et évite ainsi une formation de glace dans le tube capillaire du détendeur.

Pour que la température requise dans le réfrigérateur soit maintenue, un thermostat à tube capillaire règle automatiquement l'enclenchement, respectivement le déclenchement, du compresseur.

### 4.3 Les réfrigérateurs à absorption



Il existe des réfrigérateurs à absorption qui fonctionnent avec un corps de chauffe et donc le fluide frigorigène est à base d'ammoniaque.

Depuis quelques années, on ne trouve ces modèles plus que dans des petites constructions (réfrigérateur de voyage 12 V ou minibar 230 V).

*Mini bar pour hôtels*

#### Avantage

- totalement silencieux.

#### Inconvénient

- consommation un peu plus importante que le modèle à compression.

#### 4.4 Principales caractéristiques

★ La température du compartiment basse température est au minimum de  $-6^{\circ}\text{C}$ .  
Les produits surgelés se conservent durant quelques jours.

★★ La température du compartiment basse température est au minimum de  $-12^{\circ}\text{C}$ .  
Les produits surgelés se conservent durant une à trois semaines.

★★★ La température du compartiment basse température est au minimum de  $-18^{\circ}\text{C}$ .  
Les produits surgelés se conservent durant des mois. On peut même congeler de petites portions.



La température du compartiment basse température est dans tous les cas de  $-18^{\circ}\text{C}$ . En outre, le fait de congeler de grandes portions n'a pas d'incidence sur la température de conservation. Il faut environ 24 heures pour congeler (de  $+25^{\circ}\text{C}$  à  $-18^{\circ}\text{C}$ ) 5 % de la capacité utile.

Ces températures de stockage sont garanties pour une température ambiante de  $16^{\circ}\text{C}$  à  $32^{\circ}\text{C}$ .

#### Dégivrage

L'air ambiant contient de la vapeur d'eau. Cet air pénètre dans le réfrigérateur ou le congélateur lorsque la porte est ouverte. Les aliments entreposés dégagent également de la vapeur d'eau.

Cette vapeur d'eau en suspension dans l'air se dépose sur les parois froides de l'évaporateur et y forme du givre. La glace ainsi formée constitue un isolant thermique ce qui fait chuter le rendement de l'appareil en obligeant le compresseur à travailler plus souvent et plus longtemps.

Pour pallier à cet inconvénient, il faut dégivrer périodiquement l'évaporateur. Il existe deux types de dégivrage :

#### Dégivrage manuel

On place le bouton du thermostat dans la position « dégivrage » ou « arrêt ». Ce système peu pratique à quasiment disparu sur les réfrigérateurs actuellement sur le marché.

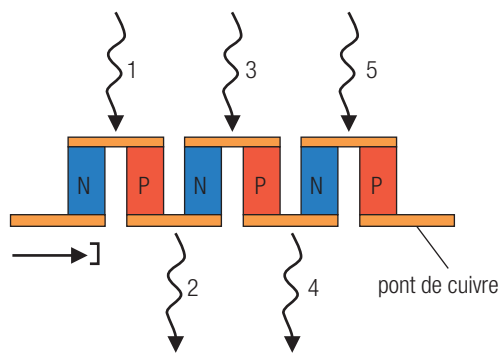
#### Dégivrage automatique

Il s'effectue automatiquement entre deux fonctionnements du compresseur. L'eau est dirigée vers le condenseur. La chaleur dégagée par ce dernier accélère l'évaporation de l'eau.

#### Note

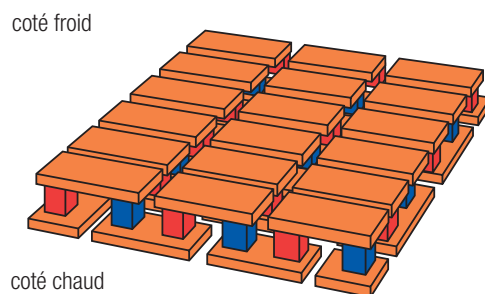
- *Il ne faut jamais recongeler des denrées qui ont été préalablement décongelées.*

## 4.5 Les réfrigérateurs thermoélectriques



Les soudures (ponts de cuivre) impaires absorbent de la chaleur, les soudures paires en restituent.

*Exemple de couplage Peltier pour former une batterie*



Ce mode électronique de production de froid n'est actuellement pas en mesure de concurrencer les modes précédents dont l'efficacité est beaucoup plus grande. Son emploi se limite aux petits réfrigérateurs transportables (pour auto, camion, camping, etc. ou mini bar – env. 45 litres).

Leur principe repose sur l'effet Peltier découvert en 1834.

Lorsqu'on fait passer du courant dans un circuit hétérogène constitué de deux matériaux dissemblables, alternativement associés en série par des soudures thermoélectriques, on observe que ces dernières s'échauffent ou se refroidissent suivant le sens de passage du courant. Les soudures d'une même parité sont le siège d'une absorption de chaleur, tandis que celles de la parité opposée sont le siège d'un dégagement de chaleur. C'est l'effet Peltier.

Dans les systèmes actuels, les matériaux dissemblables sont des semi-conducteurs comme par exemple le composé de tellure d'antimoine ( $Sb_2Te_3$ ) que l'on dope pour le rendre N et le tellure de bismuth ( $Bi_2Te_3$ ) que l'on dope également pour le rendre P.

## 4.6 Givre et variation du taux d'humidité dans l'air

### 4.6.1

#### Généralités

Le givre, comme la condensation, se forme sur les parties froides. La quantité maximale d'eau contenue dans l'air dépend de sa température. Plus la température augmente, plus l'air peut contenir d'eau. L'humidité relative est le rapport exprimé en % entre la quantité d'eau contenue dans l'air et le maximum possible à cette température. Par exemple, à 10°C l'air peut contenir 10 gr/m<sup>3</sup> d'eau. S'il n'en contient que 5 gr/m<sup>3</sup>, son humidité relative est de 50 %.

De l'air chaud qui entre contact avec des éléments froids voit sa température diminuer et son taux d'humidité relative augmenter (la quantité maximale d'eau qui peut être contenue diminue alors que la quantité d'eau réellement contenue dans l'air ne change pas). Si ce taux atteint les 100 %, il y a saturation et donc condensation. Si la partie froide est à une température inférieure à 0°C, ce qui est le cas des évaporateurs des réfrigérateurs, il y a formation de givre.

A l'inverse, si on augmente la température de l'air sans apport de vapeur d'eau, son taux d'humidité relative diminue engendrant des problèmes pour les humains. Lors des périodes de chauffe, les muqueuses desséchées des organes respiratoires deviennent un bouillon de culture pour les agents morbifiques ou pathogènes.

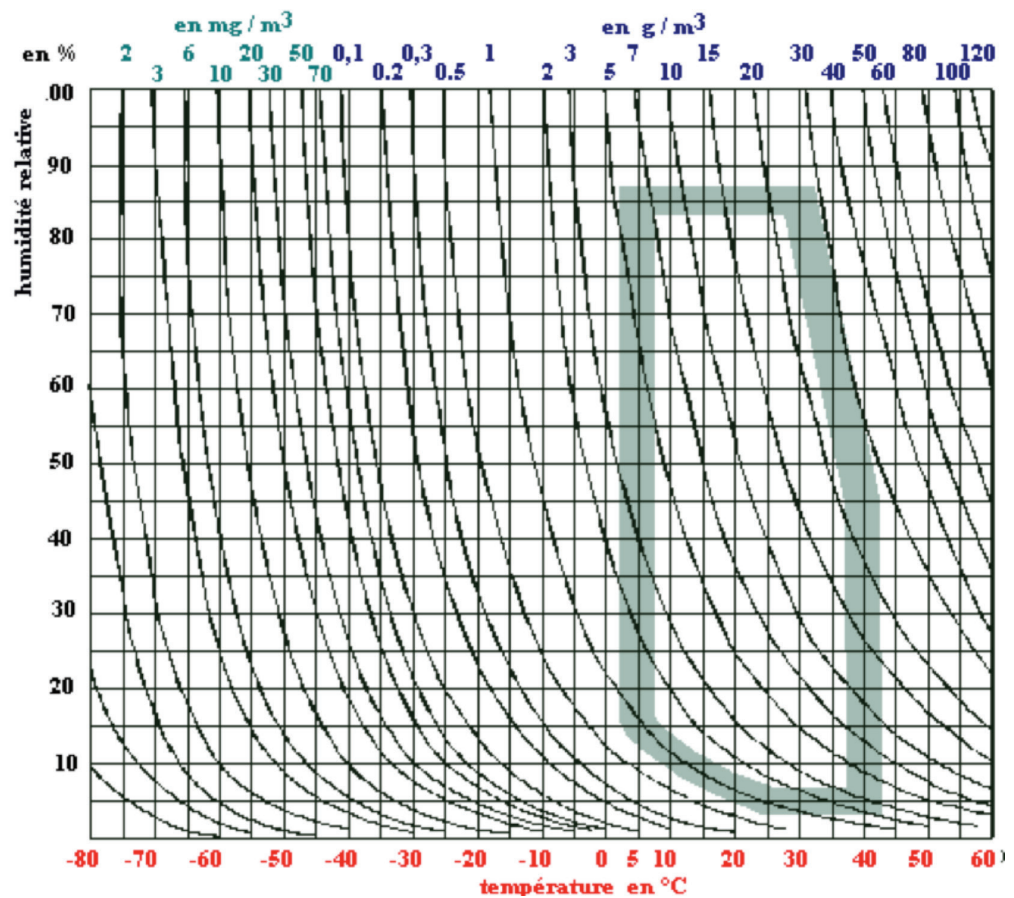
Le chauffage artificiel doit être corrigé dans ce cas par une humidification artificielle de l'air afin d'obtenir à nouveau un degré d'humidité relative agréable.



Pour ressentir un bien-être, on a besoin d'une humidité relative d'environ 50%. Si l'air chaud devient beaucoup plus humide, on est en présence d'un climat tropical. L'air trop humide porte alors préjudice à la transpiration normale de notre corps, ce qui provoque des sueurs abondantes. L'humidité de l'air est mesurée à l'aide de l'hygromètre.

L'humidité relative (échelle verticale en noir) de l'air dépend de :

- la quantité d'eau contenue dans l'air (échelle en bleu) ;
- la température de l'air (échelle en rouge).



Exemple : nous avons de l'air à 5°C qui contient 5 g/m<sup>3</sup> d'eau. Son humidité relative sera de 65%. Si nous chauffons cet air à une température de 20°C, son humidité relative diminuera jusqu'à 25%. Pour que l'air soit agréable, il faut une humidité relative de 50%, à cette température cela veut dire qu'il faudra ajouter de l'eau dans l'air pour qu'il contienne 5 g/m<sup>3</sup>.

Si ensuite nous abaissons la température à 10°C sans changer la quantité d'eau contenue dans l'air, l'humidité relative augmentera à 95%.

Pour garder ce même degré d'humidité, mais à notre température initiale soit 5°C il faudra assécher l'air pour qu'il ne contienne plus que 7 gr/m<sup>3</sup> d'eau. Pour retrouver également notre humidité relative initiale, il faut encore assécher l'air et n'avoir plus que 5 g/m<sup>3</sup> d'eau.

On peut ajouter de l'eau dans de l'air avec un humidificateur.

On peut assécher l'air avec un déshumidificateur (ou dessiccateur).

**4.7 Questionnaire**

1. Expliquer pour quelle raison l'eau bout à moins de 100°C en altitude :

---

2. Pourquoi, lorsqu'on sort d'une piscine, on a souvent une sensation de froid alors que l'air est plus chaud que l'eau ?

---

---

3. Un aliment congelé à  $-21^{\circ}\text{C}$  est-il encore capable de fournir de l'énergie calorifique ?

---

4. D'après quel principe de la physique fonctionne le réfrigérateur ?

---

---

5. Comment se nomment les divers éléments du cycle de réfrigération ?

---

6. A quel autre appareil peut-on comparer le réfrigérateur à compression ?

---

7. Quel est le fluide frigorigène utilisé dans les réfrigérateurs à absorption ?

---

8. Citer les fonctions du compresseur dans un réfrigérateur :

---

9. Quels appareils frigorifiques (à compresseur ou à absorption) remplissent les conditions suivantes :

a) prix d'achat le meilleur marché ? \_\_\_\_\_

b) fonctionne sans bruit ? \_\_\_\_\_

c) meilleur marché à la consommation ? \_\_\_\_\_

---

10. Expliquer pourquoi il est nécessaire de dégivrer l'évaporateur :

---

11. Quelle est la signification de \* \* \* sur un réfrigérateur ?

---

12. Que faut-il impérativement observer lors de la mise en place d'un réfrigérateur pour que ce dernier fonctionne dans les meilleures conditions ?

---

13. Démontrer que de l'air à  $20^{\circ}\text{C}$  avec un taux d'humidité relative de 50 % formera du givre dans un réfrigérateur :

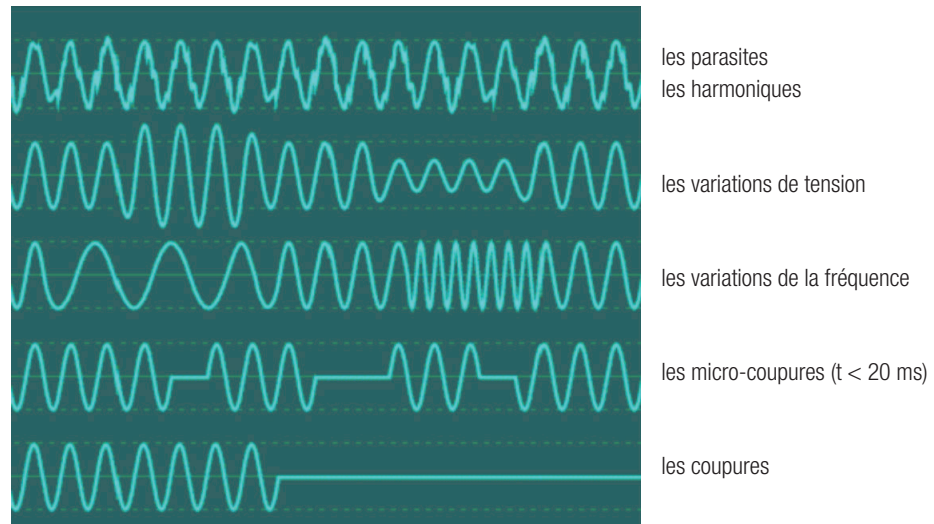
---

---

## Chapitre 5 FILTRES RÉSEAU

Le réseau électrique ne doit pas transmettre de perturbation chez les abonnés et à l'inverse les abonnés ne doivent pas envoyer des perturbations sur le réseau électrique.

Les différents types de perturbations sont :



### *Bobine d'induction – filtre réseau*

Ces filtres se font au niveau du fabricant qui les incorpore directement dans ses machines.

Jusque dans les années 2'000, les réseaux de distributions électriques étaient globalement inductifs et les distributeurs imposaient la pose de batteries de compensation ou l'emploi de matériel compensé.

Avec la généralisation des systèmes de commande utilisant de l'électronique de puissance, les courants deviennent de plus en plus impulsionnels au lieu de rester sinusoïdaux. Afin de limiter ces effets, les distributeurs imposent des cellules de filtrage. Ces différents éléments sont constitués, entre autres, de condensateurs, ce qui a pour effet de voir la tendance inductive des réseaux diminuer au profit d'une caractéristique de plus en plus capacitive.

Il est prévisible que d'ici quelques années les distributeurs ne demandent plus la pose d'appareils compensés ou l'emploi de batterie de compensation, voir même demandent la pose de bobine d'induction.

### **5.1** **Filtre** **de télécommande**

Les distributeurs doivent gérer à distance des modifications de tarifs, des enclenchements et déclenchement d'appareils tels que chauffe-eau, chauffage électrique, etc. Pour ce faire, ils installent chez les clients des télécommandes (ou télérelais) qui sont piloté par des impulsions de courant de hautes fréquences. Ces filtres sont des simples circuits résonnant LC série.

Les fréquences utilisées dépendent des distributeurs. Voici quelques exemples :

Distributeur	Fréquence [Hz]	Distributeur	Fréquence [Hz]
SIL (Lausanne)	485	SIG (Genève)	1050
Romande Energie	317	SIE (Renens)	283
SICEL (Lutry)	194	SIY (Yverdon)	725

La transmission de ces signaux se fait sur les câbles de distribution BT, mais également le réseau MT et HT. Pour la tension de ces signaux, on parle d'impulsions car elles sont de courte durée et d'environ 6 V.

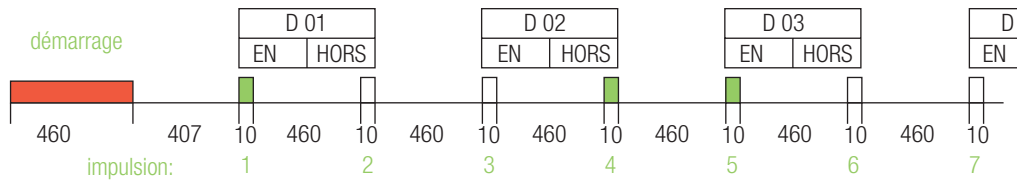
Pour différencier les ordres d'enclenchement ou de déclenchement des différents appareils, on utilise un codage d'impulsions appelé « *télégramme* ». Le code utilisé dépend du constructeur des appareils de télécommande. Le télégramme est d'une durée telle qu'il permet toutes les commandes d'enclenchement ou de déclenchement possibles.

La première impulsion du télégramme sert à faire démarrer tous les télérelais du réseau concerné.

Si toutes les impulsions étaient présentes, elles présenteraient une périodicité (chez Landis & Gyr l'intervalle entre les impulsions est de 407 ms et leur durée 10 ms ; chez Zellweger, il y a encore un codage entre impulsions et intervalles).

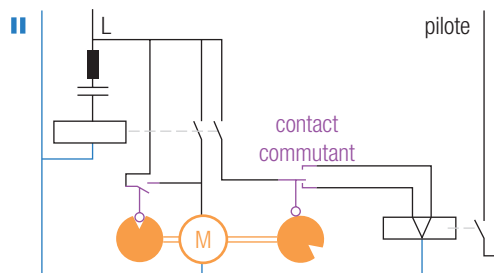
Chaque impulsion représente un ordre d'enclenchement ou de déclenchement. On peut avoir un ordre d'enclenchement commun à plusieurs appareils alors que leurs ordres de déclenchement peuvent être différents. Selon si l'impulsion est présente dans le télégramme, l'ordre est transmis ou pas.

### Exemple



A la réception de ce télégramme, tous les récepteurs réglés sur l'ordre D01 et D03 s'enclenchent, ceux réglés sur D02 se déclenchent. Il est possible qu'un ordre n'ait aucune commutation.

Afin de garantir au maximum une bonne exécution des télégrammes, ces derniers pouvant ne pas aboutir en cas de coupure, de micro-rupture ou de chute de tension, il n'est pas rare qu'ils soient répétés plusieurs fois de suite.



Du côté du télé-récepteur électro-mécanique, pour chaque appareil à commander à l'aide d'un fil pilote, l'impulsion arrive sur un relais en passant par un couplage LC série (filtre passe bande). L'impulsion de démarrage enclenche un moteur entraînant une came agissant sur un contact. Pour commuter le relais du fil pilote, il faut qu'une impulsion arrive au moment où la came actionne son contact.

## Chapitre 6 ALIMENTATIONS STABILISÉES

Une alimentation stabilisée (parfois appelée onduleur) est un appareil transformant une tension continue en une tension alternative.

Elle est très souvent utilisée pour alimenter des réseaux informatiques afin de garantir la fourniture d'énergie électrique en cas de panne du réseau.

L'onduleur trouve également des applications dans les installations photovoltaïques pour injecter l'énergie dans le réseau de distribution.

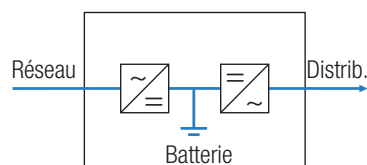
### 6.1 L'alimentation stabilisée pour ordinateur *Exemple d'onduleur*



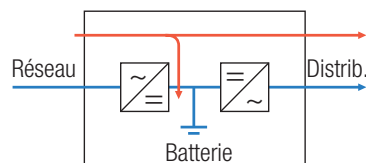
L'onduleur a, dans ce cas, différentes fonctions :

- protéger contre les coupures de courant ;
- filtrer les perturbations du réseau ;
- stabiliser les tensions, courant et fréquence.

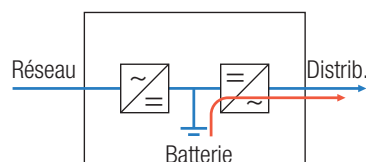
La puissance de l'onduleur devrait être 1,4 à 1,5 fois plus grande que la puissance de l'appareil alimenté.



*schéma simplifié de l'onduleur*



*fonctionnement sans coupure du réseau*



*fonctionnement lors d'une coupure réseau*

L'alimentation stabilisée est composé de :

- d'un redresseur monophasé ou triphasé pour de grosses puissances avec lissage ;
- d'une batterie interne ou externe ;
- d'un convertisseur DC / AC (l'onduleur).

En fonctionnement sans coupure de l'alimentation, le réseau alimente directement les appareils raccordés en aval de l'onduleur.

Le réseau est également utilisé pour charger en permanence les batteries qui sont ainsi toujours maintenues à leurs charges maximales.

En cas de panne du réseau, c'est la batterie qui sert d'alimentation des appareils. Le courant n'est pas réinjecté dans le réseau de distribution.

Le temps de réaction pour la mise en alimentation par les batteries est généralement de quelques microsecondes.

La durée de fonctionnement du système dépend de la puissance des appareils raccordés (du courant soutiré) et de la capacité des batteries.

## 6.2 L'onduleur pour les installations de production

Ce type d'onduleur, souvent de forte puissance, est utilisé pour transformer de l'énergie électrique initialement à tension continue, par exemple produite par des panneaux solaires ou une éolienne, en énergie électrique à tension alternative afin de pouvoir alimenter des appareils prévus pour un fonctionnement sur le réseau ou pour injecter cette énergie sur le réseau de distribution à des fins de revente

Lorsque ce type d'onduleur est utilisé pour la revente d'énergie électrique, il n'est pas nécessaire de prévoir de batterie. L'énergie produite est directement injectée dans le réseau.



onduleur 2 kVA

### Note

- *Paradoxalement avec une installation de ce type, elle ne doit pas pouvoir produire d'énergie dans le réseau si ce dernier venait à «tomber» alors même que votre installation pourrait produire de l'énergie (risque d'îlotage). Certains distributeurs imposent le raccordement de relais supplémentaires (à minimum de tension) afin d'assurer la séparation des circuits en cas de coupure de l'alimentation par le réseau.*

### îlotage :

Une partie d'un réseau électrique reste alimentée alors que la production principale est coupée.

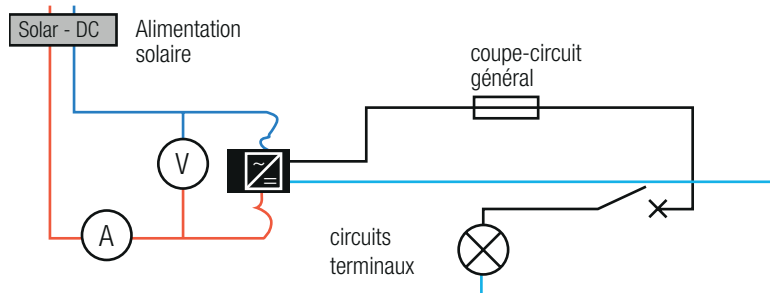
Cela est très dangereux car si le distributeur coupe volontaire une ligne pour faire des travaux, il ne faut absolument pas que de l'énergie arrive sur cette ligne par d'autres sources.

Lors de l'installation de sources d'énergie solaire plusieurs solutions de raccordements sont possibles.

### 6.2.1 Différentes façons de raccorder les installations de production photovoltaïque

#### 6.2.1.1

*Alimentation sans  
raccordement au réseau*



Pour pouvoir fonctionner avec ce système, il est indispensable de :

- soit de pouvoir stocker l'énergie produite en surproduction ce qui est souvent le cas avec le photovoltaïque. Dans ce cas l'énergie est stockée dans des batteries, puis passe dans un onduleur au moment de sa consommation.
- soit le moment de consommation n'est pas important et peut dépendre du fonctionnement ou non de la centrale de production par exemple fonctionnement intermittent d'une pompe.

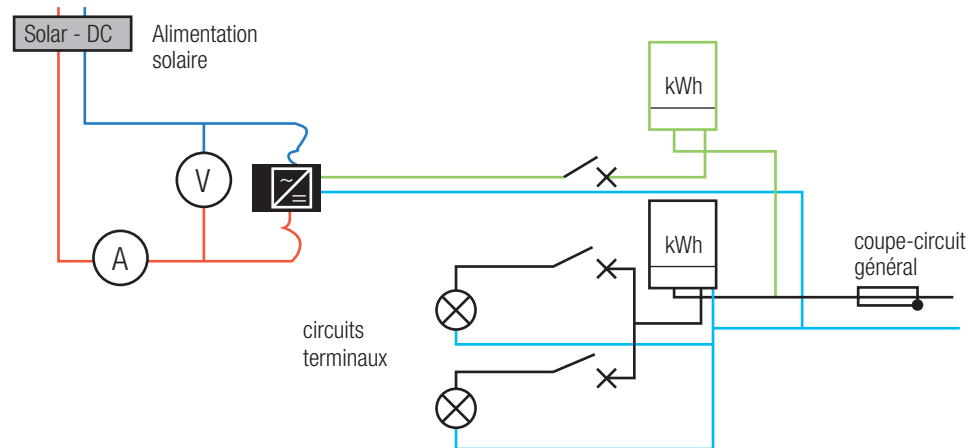
Ce mode de fonctionnement n'est généralement pas choisi

## 6.2.1.2

Alimentation  
par « injection  
de la production nette »

Lorsque la production photovoltaïque est de plus de 30 kVA, il faut obligatoirement installer un comptage sur l'installation photovoltaïque.

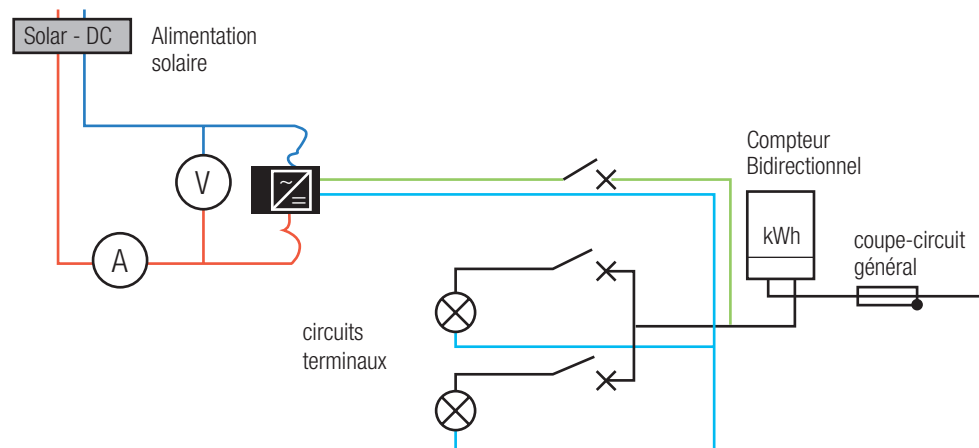
Ce genre d'installation est géré par Swissgrid. Dans ce cas, l'énergie produite est instantanément réinjectée dans le réseau public et rachetée au prix coûtant (RPC).



## 6.2.1.3

Alimentation  
en « auto-consommation  
individuelle »

Pour les installations plus modestes, comme celles sur les toits des maisons d'habitation, le comptage de la partie photovoltaïque n'est pas obligatoire en cas de raccordement en autoconsommation.



En 2017, pour les installations de moins de 30 kVA, le prix de rachat (après une RU d'un tiers des frais d'installation) se situe entre 4 et 9 centimes par kWh. Le prix va tendre au fil des années à diminuer pour arriver au prix du marché européen.

La différence de prix entre le prix de vente et le prix d'achat aux distributeurs s'explique par le fait que les frais de gestion, les frais de transport, les frais d'entretien des infrastructures et les taxes diverses sont à la charge des distributeurs.

## 6.2.1.4

## Alimentation

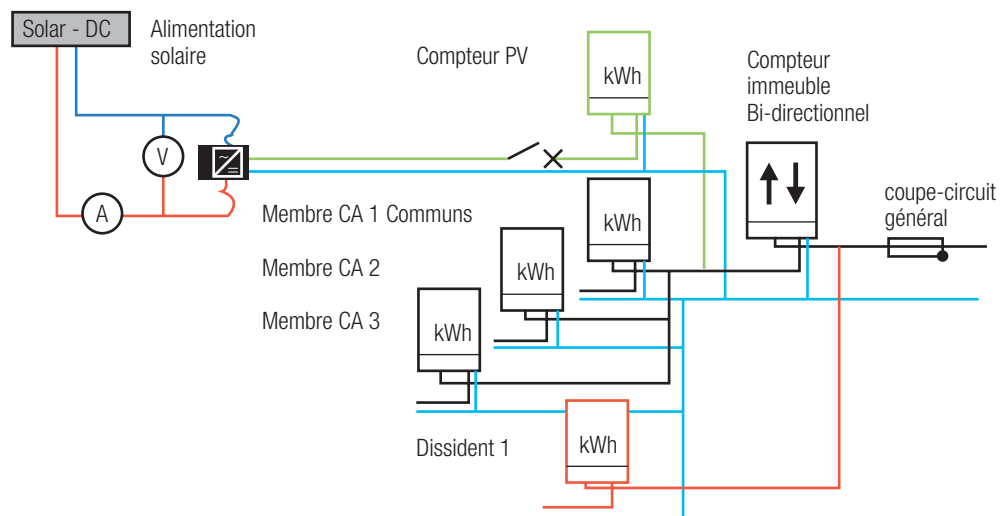
## « autoconsommation collective (CA) »

## Variante 1 :

Dans ce genre d'installations la **production photovoltaïque** est d'abord vendue par le producteur (qui décide du prix de vente) aux membres de la CA. Le surplus est vendu au distributeur local qui proposera différents tarifs.

Il est envisageable qu'un ou plusieurs locataires dans l'immeuble ne désirent pas faire partie de la CA (**dissidents**). Dans ce cas leur compteur doivent être raccordés en amont du compteur bi-directionnel.

Le gros désavantage de ce système est la complexité de la facturation aux différents membres de la CA entre l'énergie achetée au distributeur et celle provenant de l'installation photovoltaïque.

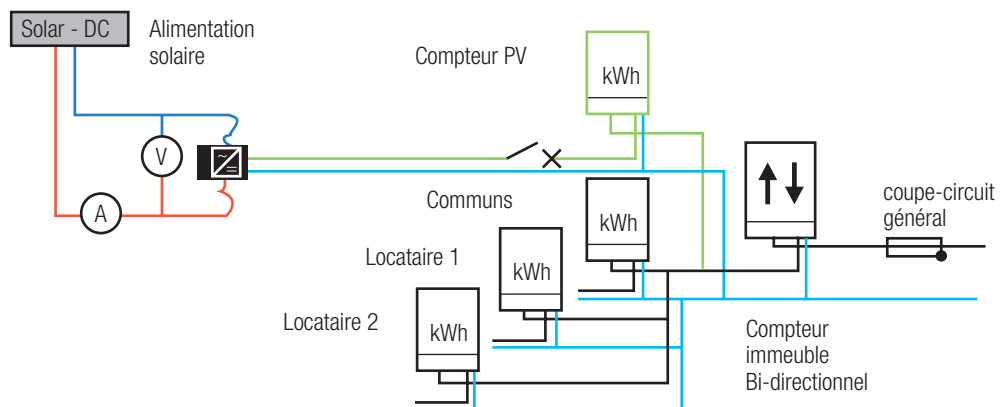


Le sens de comptage (incréméntation ou décrémentation de l'index) dépend du sens du flux.

- Lorsque la consommation est inférieure à la production locale (photovoltaïque, hydraulique, biomasse, éolien, etc.), le compteur incrémente l'énergie injectée dans le réseau du distributeur.
- Lorsque la consommation est supérieure à la production locale, le compteur incrémente l'énergie soutirée au réseau de distribution public.

A la fin de l'année le distributeur analyse les deux index et un décompte final est établi uniquement pour le compteur immeuble bidirectionnel.

## Variante 2



Dans cette variante, le distributeur PV, n'a pas à s'occuper des décomptes.



6.2.1.4  
Exercices

Exercice 1 : Le propriétaire soutire en 1 année 12'000 kWh au réseau et lui injecte 7'000 kWh. Le prix facturé par le distributeur est de 25 ct/kWh (TTC) et il rachète l'énergie à 9 ct/kWh. Quel sera le prix qu'il devra verser à son distributeur ?

---

---

Exercice 2 : Le propriétaire d'une grosse installation de production doit parfois faire attention à ne pas trop produire d'électricité car le prix de rachat dépend de la quantité produite. Par exemple en 2015 la Romande Energie achète l'énergie produite par du photovoltaïque à 9,45 ct/kWh jusqu'à 1 MVA et 4,45 ct/kWh si l'installation est plus puissante. Quelle est la différence de prix si on produit en moyenne 5 heures par jour avec :

a) une installation de 0,9 MVA? \_\_\_\_\_

b) une installation de 1,1 MVA? \_\_\_\_\_

Exercice 3 : Quel est le prix de revient du kWh d'une installation solaire qui a coûté 20'000 CHF si elle produite chaque année 1'250 kWh :

a) amortie en 20 ans? \_\_\_\_\_

b) amortie en 35 ans? \_\_\_\_\_

Exercice 4 : On désire pouvoir utiliser pour 1200 W d'appareils électriques divers durant la nuit (pendant 3 heures).

a) Quelle est la capacité de la batterie 24 V à prévoir si on veut pouvoir assurer un fonctionnement correct, si un jour sur deux il peut ne pas y avoir de soleil ?

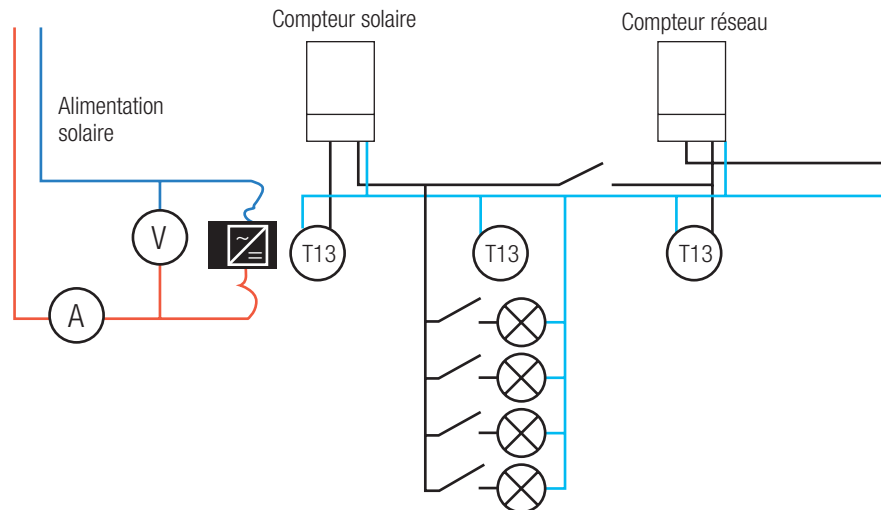
b) Combien de panneaux solaires de 250 W faut-il installer si on admet que le soleil n'est présent que 5 heures / jours ?

c) Si la météo annonce du beau pour le lendemain, durant combien de temps pourrons-nous utiliser tous ces appareils ?

d) Quelle est la surface des panneaux si on admet une production 0,2 kW/m<sup>2</sup> ?

## Exercice 5 : Description du système

Dans cette installation, il y a un compteur (*compteur solaire*) qui comptabilise l'énergie produite et un autre (*compteur réseau*) qui comptabilise l'énergie soutirée au réseau ou décompte l'énergie qui est injectée au réseau selon le schéma ci-dessous :



Compléter le tableau à l'aide de croix si aucune lampe n'est raccordée, ni de récepteur raccordé :

	Compteur solaire incrémente	Compteur réseau incrémente	Compteur réseau décrémente
Interrupteur ON sans soleil			
Interrupteur ON avec soleil			
Interrupteur OFF sans de soleil			

Compléter le tableau à l'aide de croix en sachant que deux des lampes sont allumées :

	Compteur solaire incrémente	Compteur réseau incrémente	Compteur réseau décrémente
Pas de soleil $P_{\text{solaire}} = 0 \text{ W}$			
Peu de soleil $P_{\text{solaire}} < P_{\text{lampes}}$			
ensoleillement normal $P_{\text{solaire}} = P_{\text{lampes}}$			
Beaucoup de soleil $P_{\text{solaire}} > P_{\text{lampes}}$			

Dessiner à l'aide de flèches rouges le parcours du courant dans le cas d'un récepteur raccordé sur la prise « réseau » et un ensoleillement maximum ( $P_{\text{solaire}} > P_{\text{récepteur}}$ )

### 6.3 Questionnaire

1. A quoi sert un filtre réseau ?

---

---

2. Citer 3 causes possibles de perturbations réseau :

---

---

---

3. Un onduleur de 450 VA a une alimentation 24 V DC.

a. Calculer les courants DC et AC :

---

---

b. quelle sera la section de la ligne en aval (méthode de référence B1) de cet onduleur ?

---

---

---

c. Quelle sera la section de la ligne en amont (méthode de référence B1) de cet onduleur ?

---

---

4. La distance entre une installation de panneau solaire est de 40 m. La puissance maximale des panneaux est de 5 kW. Quelle est la section des fils entre les panneaux et l'onduleur si la chute de tension ne doit pas dépasser 4 % ( $U_{DC} = 800 \text{ V}$ )

---

---

---

---

5. Durant combien de temps pourra-t-on utiliser un PC qui consomme en moyenne 230 W Avec une batterie d'une capacité de 9 Ah ?

---

---

6. Pourquoi n'est-il pas autorisé d'alimenter le réseau si celui-ci est interrompu ?

---

---

7. Pourquoi n'est-il pas utile d'avoir des batteries lorsqu'on revend de l'énergie à son distributeur?

---

---

---

8. Démontrer que la batterie d'onduleur ne peut pas alimenter le réseau si le redresseur est un pont Grectz

---

---

9. Dessiner une cellule de lissage composée de 2 condensateurs et d'une bobine :

10. Dessiner un filtre passe-bande 125 kHz en calculant des valeurs possibles pour les composants :

12. Dessiner un redresseur à pont grectz avec un lissage par condensateur.

13. Qu'est-ce que veut dire *RPC*?

---

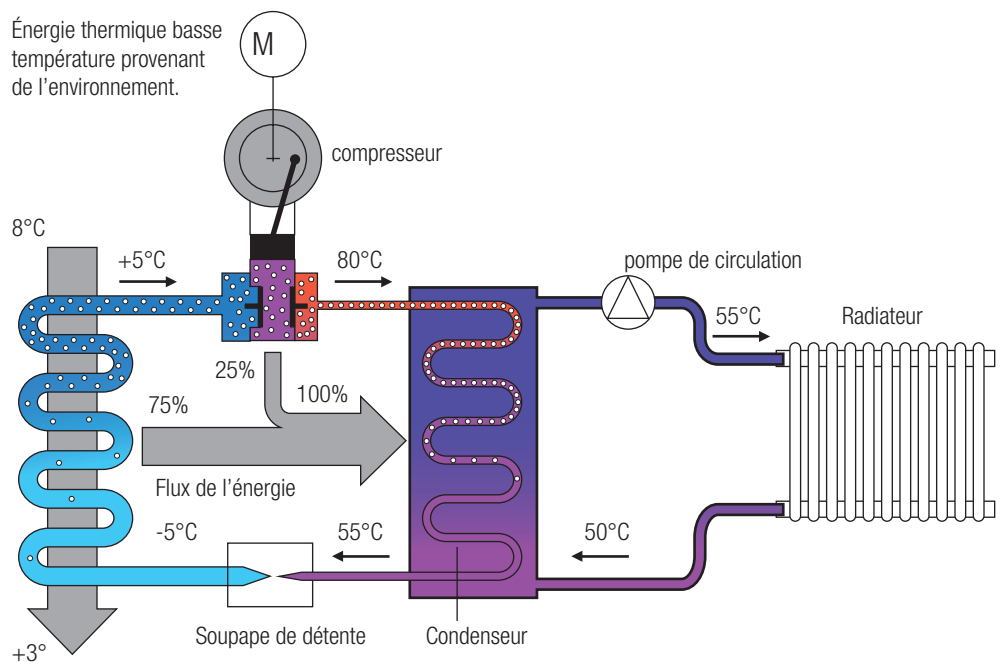
## Chapitre 7 POMPES À CHALEUR

Le milieu environnant, l'air, les eaux profondes, superficielles et le sol, constituent un énorme réservoir de chaleur, d'origine essentiellement solaire. Mais son niveau de température est trop bas pour satisfaire, par utilisation directe, aux besoins thermiques pour le chauffage de l'habitat.

La pompe à chaleur permet de prélever cette énergie thermique pour la transférer dans de l'eau ou parfois de l'air de chauffage.

### 7.1 Principe de fonctionnement

Il s'agit en principe d'une machine frigorifique dont on exploite non pas la capacité de refroidissement, mais la chaleur libérée par le condenseur. Cette machine permet, moyennant une dépense réduite d'énergie, de transférer de la chaleur d'un niveau de température inférieur à un niveau supérieur.



Dans la pompe thermique circule un fluide frigorigène, actuellement du R134 A (sans CFC), ayant la propriété de se vaporiser à basse pression et à des températures même largement inférieures à  $0^{\circ}\text{C}$ .

Ce phénomène se produit dans l'évaporateur. Ce dernier est un échangeur de chaleur dans lequel circule d'un côté le fluide frigorigène provenant du détendeur et, de l'autre côté, le fluide extérieur (eau, air, ...) duquel on prélève la chaleur à basse température. Le fluide frigorigène en provenance du détendeur entre en ébullition dans l'évaporateur en absorbant de l'énergie thermique au fluide extérieur, dont la température va diminuer de quelques degrés.

Le compresseur est actuellement le plus souvent du type rotatif entraîné par un moteur électrique. En premier lieu, il va aspirer le gaz frigorigène à basse pression et à basse température et ensuite le comprimer. Ceci va en augmenter fortement la température.

Le gaz chaud sous pression provenant du compresseur est dirigé vers le condenseur. Ce dernier est un échangeur de chaleur dans lequel circule l'eau de chauffage à réchauffer d'un côté et le fluide frigorigène de l'autre. Ce dernier va se condenser (devenir liquide) et l'énergie utile pour la condensation est transmise sous forme de chaleur à l'eau dont la température augmente.

Le circuit se termine par un détendeur. Grâce à ce dernier, le liquide formé dans le condenseur (haute pression) est ramené à la pression régnant dans l'évaporateur (basse pression). Cette détente provoque une diminution de la température du fluide frigorigène qui retourne à l'évaporateur. Le cycle est ainsi bouclé.

## 7.2 Types de pompes à chaleur

Les pompes à chaleur se différencient par :

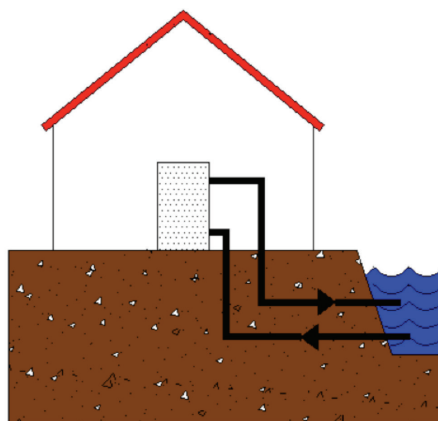
- les sources de chaleur ;
- l'absorption et l'émission de chaleur, qui peut se faire directement ou par l'entremise d'un fluide caloporteur intermédiaire.

### 7.2.1 Pompes à chaleur eau/eau

#### Installation

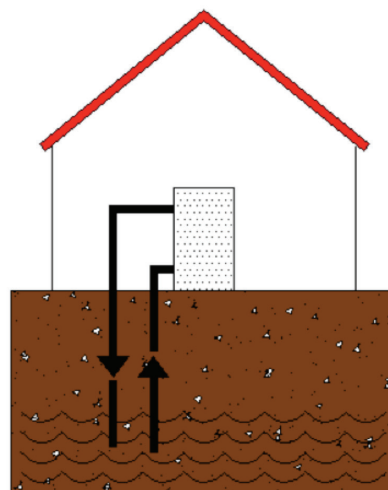
**Eau de surface** (rivière, lac). Une pompe fait circuler l'eau à travers l'évaporateur. Comme la quantité d'eau à disposition est très abondante, celle-ci n'est que très peu refroidie.

- exploitation soumise à concession ;
- nécessite 310 litres d'eau/h par kW installé,
- filtrage efficace nécessaire ;
- inutilisable en dessous de 2°C (risque de gel).



**Nappe phréatique.** Même principe de fonctionnement que pour l'eau de surface. La température de l'eau de la nappe phréatique ne varie pas au cours des saisons et reste comprise entre 5 et 10°C. Il n'y a donc pas de risque de gel.

- exploitation soumise à concession ;
- nécessite 150 litres/h par kW installé ;
- creusage de deux puits de captage (aller et retour) ;
- liée souvent à des frais élevés.



#### Installation

### 7.2.2 Pompes à chaleur saumure/eau

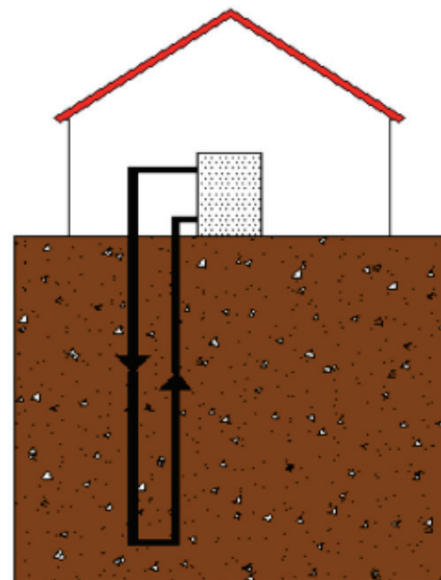
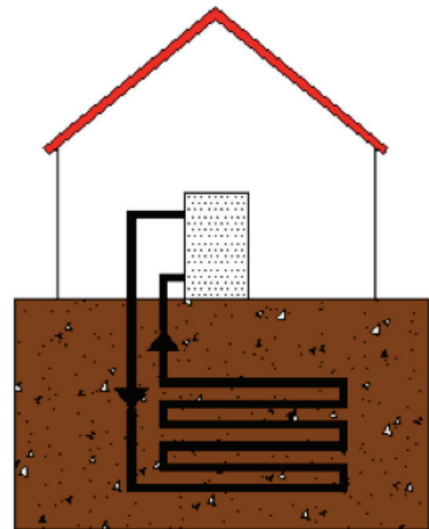
#### Installation

**Serpentins enterrés.** Des tuyaux en plastique sont enterrés à environ 1,5 m de la surface (hors de la zone de gel), dans ces derniers circule une saumure généralement constituée d'un mélange glyco-eau qui s'échauffe au contact du sol. La chaleur ainsi recueillie est transmise par l'intermédiaire d'un échangeur à l'évaporateur.

- grande surface de terrain nécessaire ;
- 42 m<sup>2</sup> d'emprise au sol par kW installé ;
- la végétation située en dessus des serpentins a sa croissance retardée de 2 à 4 semaines ;
- risque de gel du terrain.

#### Exemple

Une maison familiale qui utilise une puissance de 10 kW en chauffage, a besoin d'un terrain de 420 m<sup>2</sup> pour les serpentins.



**Sondes géothermiques.** Des sondes géothermiques sont installées en profondeur dans le sol.

Même principe de fonctionnement que ci-dessus.

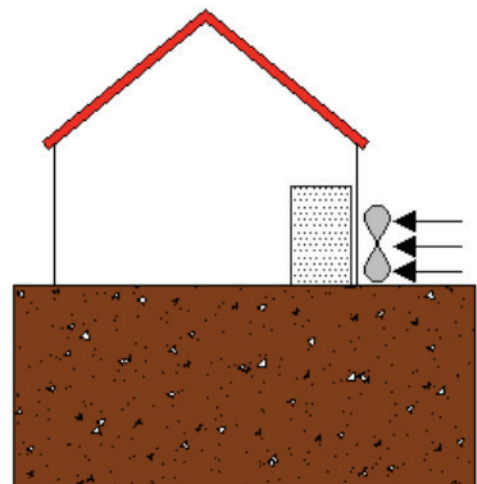
Installation : Il faut installer 15 m de sonde (verticale) par kW installé (par exemple une maison familiale dont la puissance de chauffage se monte à 10 kW, nécessite 2 sondes de 75 m).

### 7.2.3 Pompes à chaleur air/eau

La source de chaleur est l'air extérieur dont la température dépend des conditions atmosphériques. L'inconvénient découlant du fait que c'est précisément aux jours les plus froids (où le coefficient de performance est le plus faible) que le besoin en chaleur sont les plus élevés, et que cela nécessite souvent un système de chauffage bi-énergie.

Ce système permet d'utiliser la chaleur de l'air extérieur jusqu'à une température moyenne de +3°C et de recourir aux combustibles fossiles que quelques jours par an seulement.

On peut aussi, sous certaines conditions, récupérer la chaleur de l'air vicié (bâtiments administratifs, fonderie, etc.).



### 7.2.4 Pompes à chaleur air/air

#### Radiateur pompe à chaleur.

L'énergie thermique basse température provenant de l'air extérieur est chassé au travers de l'évaporateur pour retourner ensuite à l'extérieur. Au passage, on absorbe la chaleur basse température de l'air ce qui met le fluide frigorigène venant du détendeur en ébullition. Le compresseur aspire et comprime le gaz frigorigène à basse pression et à basse température, ce qui va fortement augmenter sa température.

Le gaz chaud sous pression provenant du compresseur est dirigé vers le condenseur. Ce dernier est un échangeur de chaleur dans lequel circule l'air à réchauffer.

La diffusion de la chaleur par le radiateur se fait par rayonnement et convection. La surface de chauffe du radiateur ne dépasse pas, pour une question de sécurité, la température de 55°C. La diffusion de chaleur est silencieuse (sans ventilateur).

Deux centimètres de béton enrobé dans la tôle du condenseur fournissent une faible accumulation de chaleur, ce qui provoque une temporisation de l'enclenchement du compresseur.

Le radiateur pompe à chaleur a besoin de deux conduits de traversée dans la paroi extérieure d'un diamètre de 162 mm : un pour l'air aspiré et un pour l'air refoulé.

Il y a également lieu de prévoir un tuyau d'écoulement d'un diamètre de 14 mm pour l'eau de condensation.

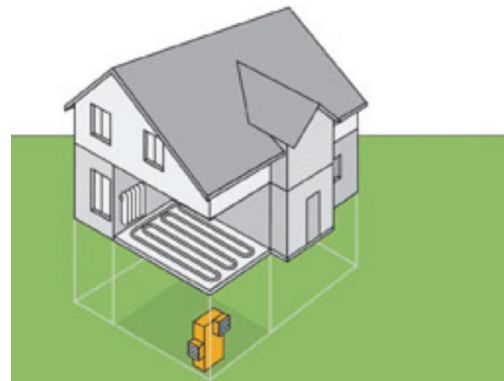
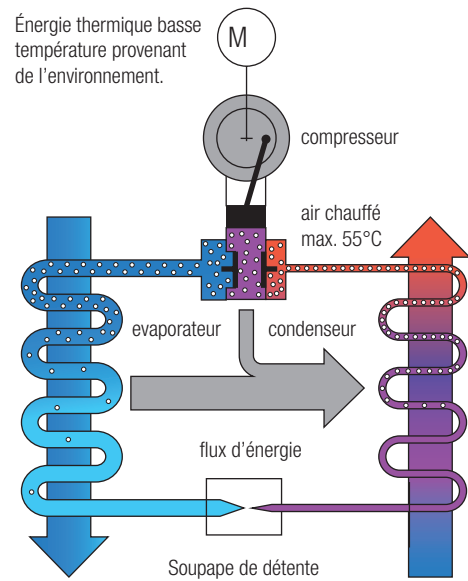
De ce fait, l'installation est limitée à une paroi extérieure.

Ce type de radiateur est intéressant pour :

- locaux indépendants
- aménagement de combles
- locaux de séjour, de bricolage et de bureaux
- salle de jeux
- fermes sans chauffage central

#### Exemple

- Température aller max. 55°C
- Puissance de chauffage en 7.5 kW
- Coefficient de performance 3.3
- Dimensions en mm LxHxP 750x1900x675





### 7.3 Modes de fonctionnement

Selon les conditions climatiques de l'endroit et du type de pompe à chaleur utilisé, il est possible que la PAC seule n'arrive pas à couvrir les besoins calorifiques du bâtiment à chauffer.

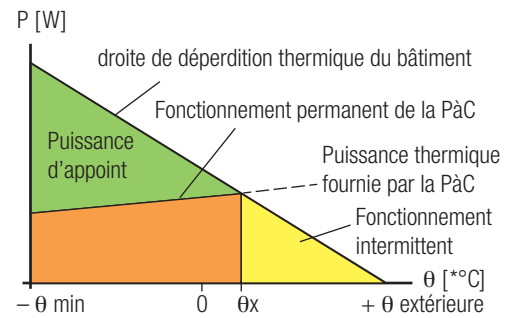
Il faut alors recourir à un appoint ou à une relève d'énergie.

Les diagrammes ci-contre permettent de visualiser ces cas.

Les différents moyens utilisés sont :

- a) système monovalent sans apport extérieur.

La PAC assure seule tout le besoin en énergie. Pour cela, il faut disposer d'une source d'énergie primaire à température constante (nappe phréatique, sonde géothermique), et également que la température extérieure ne descende pas en dessous du point critique  $\theta_x$  (température à laquelle la puissance de la pompe en fonctionnement permanent couvre exactement les déperditions thermiques).

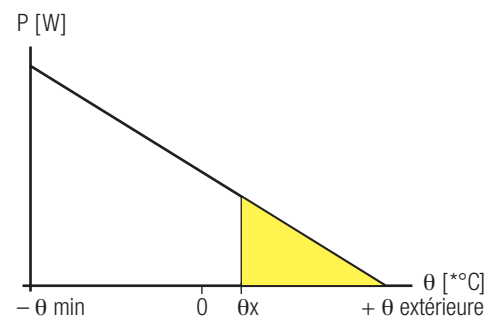


- b) système bivalent avec appoint.

La PAC assure seule le besoin en énergie jusqu'à la température critique  $\theta_x$  au-dessous de laquelle les deux sources travaillent ensemble.

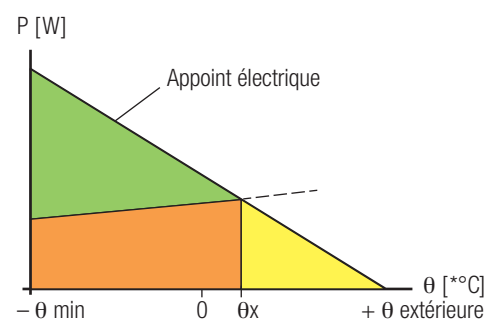
Ce mode de fonctionnement est soumis à l'autorisation du distributeur d'électricité.

Un corps de chauffe est rajouté dans le réservoir.



- c) système bivalent alternatif (sans appoint).

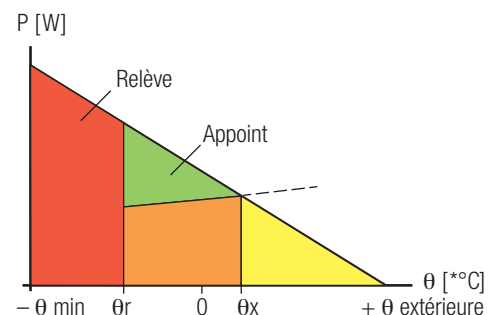
Fonctionnement de la PAC seule et en dessous de  $\theta_r$ , fonctionnement d'une autre source seule (vert).



- d) système bivalent, avec relève et alternatif.

La PAC assure seule la fourniture d'énergie jusqu'à la température critique  $\theta_x$ . En dessous de cette température et jusqu'à la température de relève  $\theta_r$ , les deux sources travaillent ensemble.

En dessous de  $\theta_r$ , des raisons techniques et économiques obligent à ne faire subsister que la deuxième source d'énergie (électrique, gaz, mazout, bois, ...).



## 7.4 Coefficient performance

Comme pour d'autres machines, on peut dans le cas d'une pompe à chaleur, définir la relation entre l'énergie consommée ou absorbée et l'énergie utile ou produite.

Coefficient de rendement :

$$\mathcal{E}_n = W_u / W_a = \text{énergie utile (chauffage)} / \text{énergie totale absorbée}$$

Pour caractériser une pompe à chaleur on calcule le coefficient de performance moyen et instantané.

Coefficient de performance moyen (calcul sur une période donnée) :

$$\mathcal{E}_m = \text{chaleur fournie par le condenseur} / \text{énergie électrique totale absorbée}$$

Coefficient de performance instantané :

$$\mathcal{E}_i = P_c / P_e$$

$$\mathcal{E}_i = \text{puissance calorifique fournie par le condenseur} / \text{puissance totale absorbée}$$

## 7.5 Economie d'énergie

<b>Enclencher et déclencher le chauffage en fonction des conditions météorologiques.</b>	Pendant les saisons intermédiaires (en automne et au printemps), soyez attentifs aux prévisions météorologiques. Quand il fait doux, réglez le chauffage sur nuit ou sur été. Les installations munies d'une régulation annuelle effectuent automatiquement ces manœuvres
<b>Réduire l'émission de chaleur si on dort la fenêtre ouverte.</b>	La nuit, fermez les volets ou les stores. Vous éviterez ainsi un refroidissement excessif de la maison. Si vous dormez la fenêtre ouverte, veillez à ce que les vannes thermostatiques soient fermées.
<b>Aérer en grand.</b>	Les fenêtres basculantes constamment entrouvertes laissent s'échapper beaucoup d'énergie tout en n'offrant qu'un médiocre renouvellement de l'air. En lieu et place, aérez en grand trois fois par jour pendant 5 à 10 minutes en ouvrant un maximum de fenêtres.
<b>Ne pas régler la température ambiante en ouvrant et fermant les fenêtres.</b>	Ne réglez pas la température ambiante en ouvrant et fermant les fenêtres, mais en vous servant des vannes thermostatiques. Voici les réglages moyens pour les diverses pièces : <ul style="list-style-type: none"> <li>• 23°C dans la salle de bain</li> <li>• 20–23°C dans les chambres à vivre</li> <li>• 17–20°C dans les chambres à coucher</li> <li>• 17–20°C dans les chambres de jeu</li> <li>• 17°C dans le hall d'entrée</li> <li>• 14–17°C dans les pièces peu occupées</li> </ul>
<b>Vérifier la fermeture du clapet de la cheminée.</b>	Contrôlez régulièrement la fermeture du clapet et des trappes de la cheminée lorsqu'elle n'est pas utilisée.
<b>Absences du week-end ou de vacances : brancher le chauffage en régime économique.</b>	Le régime nuit ou vacances est rentable même pour une absence d'une journée. Activez donc le régime vacances même si vous ne partez que pour un week-end.

**7.6 Questionnaire**

1. Quel est le principe de fonctionnement de la pompe à chaleur ?

---

---

2. Citer cinq sources d'énergie thermique utilisables par une pompe à chaleur :

---

---

3. Dans le condenseur, la pression est-elle basse ou haute ?

---

4. Après le passage dans le détendeur, la température du fluide a-t-elle diminué ou augmenté ?

---

5. Quels sont les éléments de la pompe à chaleur dans lesquels le fluide change d'état ?

---

---

6. Expliquer la raison pour laquelle la végétation, située au-dessus d'un captage de sol pour la pompe à chaleur, a plus de risque de geler en hiver :

---

---

7. Dans une pompe à chaleur, quelle est la puissance la plus grande, la puissance électrique du compresseur ou la puissance thermique du chauffage ?

---

---

8. Expliquer les trois modes de fonctionnement des pompes à chaleur :

a) monovalent sans apport extérieur d'énergie

---

---

b) bivalent avec appoint d'énergie

---

---

c) bivalent, avec relève et alternatif

---

---

9. Une personne vous dit que le rendement d'une pompe à chaleur est de 300%. Corriger cette valeur :

---

---

10. Pourquoi le coefficient performance d'une PAC air/air est-il plus élevé en été qu'en hiver ?

---

---

---

11. Quel est le système de chauffage électrique le plus avantageux pour une maison d'habitation (Inclus les frais d'investissements, d'entretien et d'énergie électrique) ?

---

---

---

---

---

---

12. Indiquer quatre façons d'économiser de l'énergie de chauffage :

- a) \_\_\_\_\_
- b) \_\_\_\_\_
- c) \_\_\_\_\_
- d) \_\_\_\_\_
- 

13. Quel est le coût à 25 ct/kWh pour chauffer 3000 litres d'eau d'un spa ( de 15 à 27 °C)

a) avec un chauffage électrique d'un rendement de 0,9 ?

---

---

---

b) avec une PAC avec un coefficient énergétique de 3 ?

---

---

---

## Chapitre 8 MESURE PAR TRANSFORMATEUR D'INTENSITÉ TI

Le transformateur d'intensité dont le fonctionnement est expliqué dans le manuel « Electro-technique Fascicule 3 » au chapitre 14.3.3 est généralement utilisé pour :

- alimenter des compteurs lorsque que le courant de ligne dépasse 100 A ;
- faire une mesure du courant dans la cadre d'un asservissement par automate programmable.

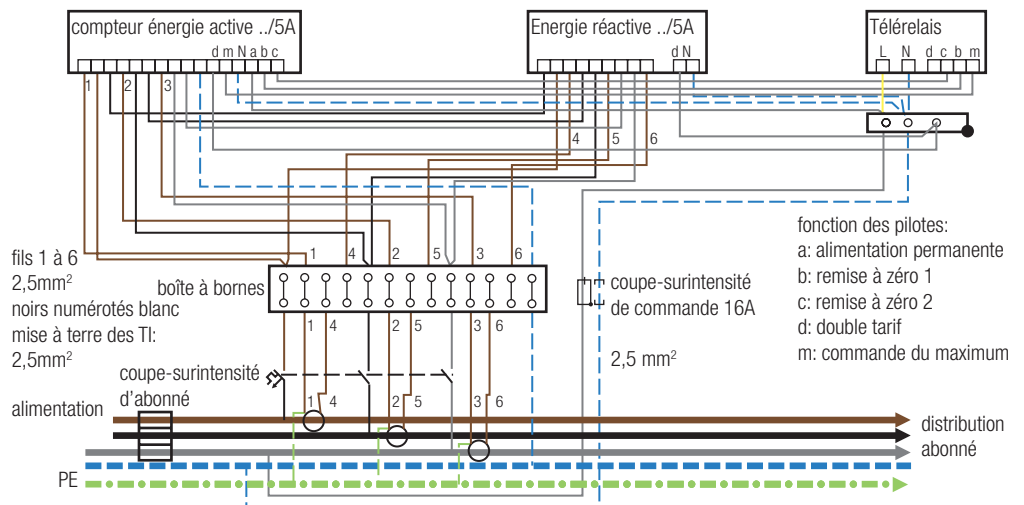


Exemples de TI

*Note*

- Le transformateur toroïdal que l'on trouve dans les DDR est assimilable à un TI.

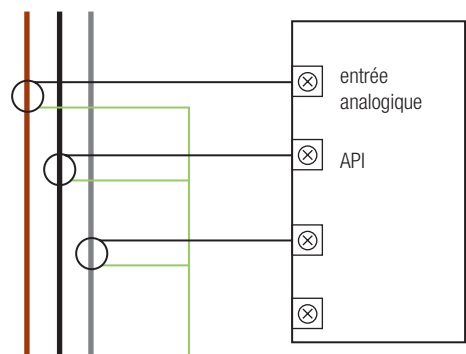
Dans le cas d'une utilisation avec un compteur, il faut installer une boîte à pont (ou boîte à bornes) qui permet la mise en court-circuit des TI lors d'une intervention sur le compteur (PDIE 53.51). Les TI de mesure sont calibrés pour avoir un courant maximum de 5 A au secondaire.



Dans le cas de l'emploi avec un API, on peut utiliser soit des entrées numériques, soit analogiques. L'avantage du système analogique est que l'on peut avoir une image très précise du courant dans les conducteurs.

Exemples d'application :

- délestage de charges ;
- détection de déséquilibre de charges ;
- régulation de vitesse d'un moteur en fonction de sa vitesse.



### 8.1 Questionnaire

1. Qu'est-ce qu'un TI ?

---

---

2. A partir de quelle intensité de courant électrique les distributeurs demandent-ils la pose de TI ?

---

3. Un TI est noté 100/ 5 A. Quelle sera la valeur du courant au secondaire du TI s'il n'y a que 80 ampères dans la barre du primaire ?

---

4. Pourquoi ne faut-il jamais interrompre le circuit secondaire d'un TI ?

---

5. En quoi un DDR est-il assimilable à un TI ?

---

---

6. Pourquoi faut-il installer une boîte à pont lors de l'emploi de TI pour un comptage ?

---

---

7. Comment sont désignées les bornes du primaire d'un TI ?

---

8. Comment sont désignées les bornes du secondaire d'un TI ?

---

9. Quelle différence fondamentale y a-t-il entre un TI et les autres transformateurs ?

---

---

10. Dans quels cas utilise-t-on l'un ou l'autre des TI représentés sur la page précédente ?

---

11. Quelle différence y a-t-il entre une entrée numérique et une entrée analogique sur un API ?

---

12. Dessiner un montage à portes logiques qui permet de couper un appareil (commandé par la sortie Q1) s'il manque une phase d'alimentation (entrées des TI sur I1, I2 et I3)

13. Dessiner une installation de comptage d'énergie active (sans télérelais et sans compteur réactif) pour une alimentation triphasée 250 A.

## Chapitre 9 LABEL ÉNERGIE ET STANDARD MINERGIE

L'étiquette énergie est obligatoire depuis 1995 pour l'électroménager et pour les ampoules électriques. Depuis elle se trouve aussi sur d'autres articles comme la voiture (en rapport au CO<sub>2</sub>).

Voici la signification des différentes zones de cette étiquette :

Dans la première partie de l'étiquette, on trouve les références précises de l'appareil du modèle et du fabricant.

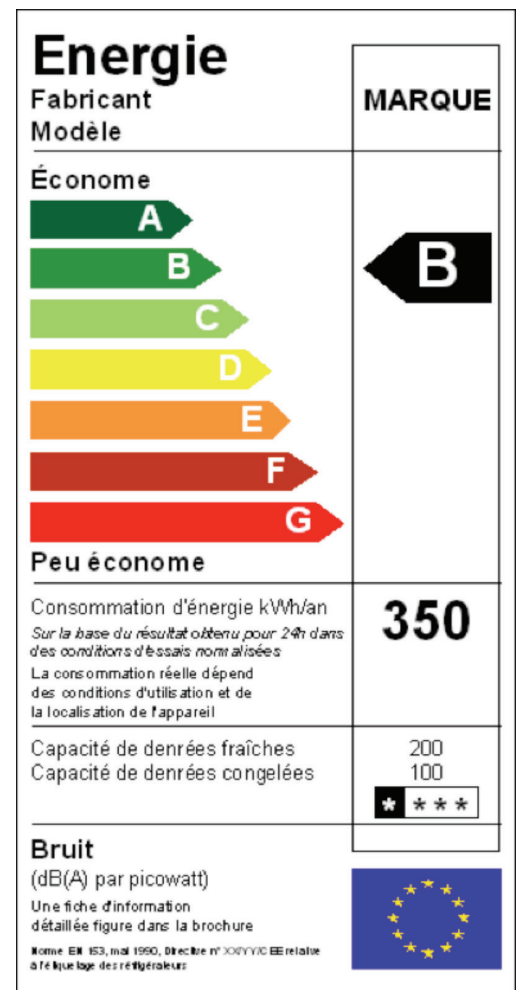
De A (l'appareil est très économe) à G (l'appareil consomme beaucoup d'électricité), ce code couleur donne une idée de la consommation d'énergie d'un appareil électroménager. Cette classification concerne notamment fours, lave-vaisselle, sèche-linge, réfrigérateurs, congélateurs. Dans la colonne de droite de l'étiquette sur fond noir, figure la catégorie de l'appareil. C'est ainsi que l'on se rend compte si un appareil se révèle coûteux à l'usage.

*Le Label énergie définit une efficacité énergétique.*

Dans cet exemple (un réfrigérateur), cette partie indique la consommation électrique et la contenance. Sur d'autres appareils on trouve d'autres renseignements complémentaires comme par exemple pour un lave-vaisselle : la consommation en eau, la capacité de l'appareil en nombre de couverts ainsi que 2 critères de qualité : l'efficacité du lavage et celle du séchage.

Facteur non négligeable de confort, le bruit émis par l'appareil est inscrit en décibels. En soit, cela n'est pas forcément facile à décrypter mais cela permet des comparaisons avec les autres produits.

Parfois on trouve des désignations simplifiées (en plus de l'étiquette standard) par exemple lors de la vente sur Internet.



### Note

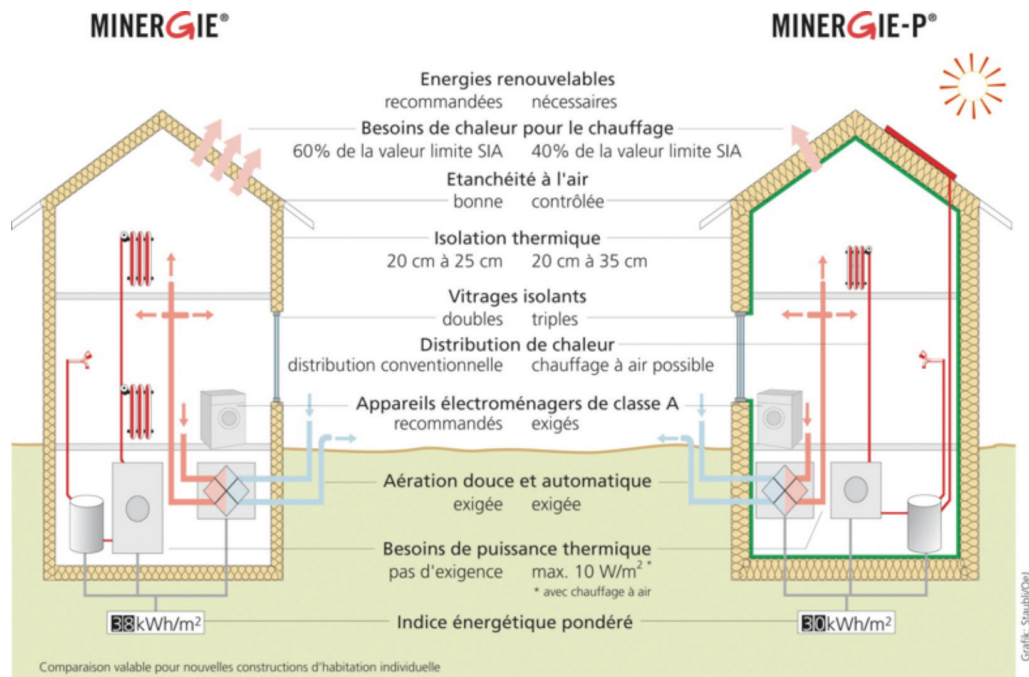
- De plus en plus ces étiquettes distinguent aussi les classes A, A+, A++ et même A+++.
- Pour les sources lampes, l'étiquette ne va pas au-delà de la classe E car les lampes moins efficaces ne peuvent plus être commercialisées depuis fin 2012.

## 9.1 Standard Minergie

Le standard MINERGIE® est un standard de construction qui se propose d'utiliser l'énergie de manière rationnelle et d'avoir recours aux énergies renouvelables tout en améliorant la qualité de vie, en demeurant compétitif et en diminuant l'impact sur l'environnement.

Chez MINERGIE®, c'est l'objectif – les valeurs limites de la consommation d'énergie – qui est défini. Les chemins pour y parvenir sont nombreux. Il est important que tout le bâtiment soit considéré comme un système intégral : l'enveloppe du bâtiment avec les installations techniques. En ce qui concerne les installations techniques du bâtiment – chauffage, aération et préparation de l'eau chaude sanitaire – ce sont plus des combinaisons judicieuses que des additions qui sont demandées. Dans les bâtiments MINERGIE®, à consommation d'énergie de chauffage minimale, le vecteur énergétique pour le chauffage ne joue qu'un rôle secondaire. En revanche, la consommation d'eau chaude sanitaire gagne en importance dans le bilan énergétique. Les solutions considérant les énergies renouvelables (par ex. capteurs solaires) s'appliquent en premier lieu ici.

**MINERGIE-P®** Le standard MINERGIE-P® décrit et qualifie des objets à consommation d'énergie encore plus réduite que MINERGIE®. De même que pour MINERGIE®, MINERGIE-P® fixe des exigences élevées en matière de confort et de rentabilité. Une maison supposée satisfaire les très sévères exigences de MINERGIE-P® doit être planifiée, construite et exploitée dans ce but comme un système global et optimisée dans toutes ses composantes. Une simple couche d'isolation supplémentaire ne suffit donc pas. Une bonne et facile utilisation du bâtiment, respectivement des installations techniques, font aussi partie des éléments destinés à assurer le confort souhaité.



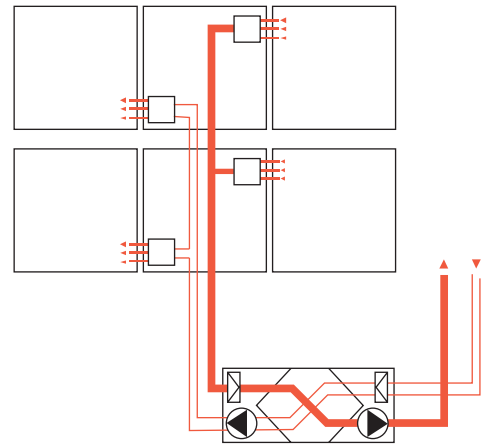


### 9.1.1

#### Ventilation

##### Description

- Système d'aération le plus souvent utilisé dans les maisons MINERGIE.
- Indiqué pour les anciennes et nouvelles constructions.
- Récupération de chaleur (RC) pour réduire les pertes de chaleur dues à l'aération et pour préchauffer l'air pulsé.
- Dans les immeubles collectifs : installations centrales ou par appartement.
- Fonctionnement à une ou plusieurs allures.
- Toutes les pièces chauffées d'un logement ou d'un bâtiment doivent être aérées mécaniquement.



##### Exigences

### 9.1.2

#### Eclairage

L'exigence concernant l'éclairage MINERGIE® est remplie quand le besoin d'électricité ne dépasse pas le standard MINERGIE.

La méthodologie de la SIA 380/4 permet également de planifier un éclairage selon le standard MINERGIE.

MINERGIE® restreint quelque peu la possibilité d'aménager un éclairage. Le standard ne permet pas de réaliser des solutions d'éclairage indirect. Les lampes à incandescence ou à halogène ne suffisent généralement pas pour remplir les exigences.

- Aménagement intérieur lumineux
- Luminaires de classe d'efficacité A.
- Lampes avec ballasts électroniques.
- Réflecteurs de lampes optimaux avec part élevée en lumière directe.
- Commande à lumière du jour (dans les locaux avec lumière du jour).
- Détecteurs de présence (dans les locaux sans lumière du jour).

Les lampes modernes combinées à des détecteurs de mouvements permettent d'avoir une consommation totale correspondant à un cinquième de celle de l'ancien standard. Si la charge thermique intérieure actuelle d'environ 200 Wh/m<sup>2</sup> due à l'éclairage peut être réduite, il en résultera comme avantage accessoire une réduction sensible de la température ambiante en été. Dans un bâtiment de bureaux traditionnel, ceci peut tout à fait se traduire par une température plus basse de 2°C en moyenne.

### 9.1.3

#### Appareils

MINERGIE® recommande d'équiper tous les bâtiments MINERGIE® avec des appareils électroménagers de la classe A/A+. La qualité des appareils ne fait toutefois pas partie de la valeur limite MINERGIE®.

*\* Pour autant que l'eau chaude ne provienne pas d'un chauffe-eau électrique direct, ce système est généralement rentable pour les lave-linge et les lave-vaisselle. À cet effet, les lave-linge doivent être munis de deux raccordements, pour l'eau chaude et l'eau froide.*

- Réfrigérateurs, A+ et A++
- Congélateurs, A+ et A++
- Lave-linge, A/A/A raccordement à l'eau chaude \*
- Fours, A
- Lave-vaisselle, A/A/A raccordement à l'eau chaude\*
- Sèche-linge, A
- Sèche-linge à air soufflé et Armoires de séchage, A1

## 9.2 Questionnaire

1. À quoi sert le Label énergie ?

---



---

2. À votre avis quelle est la lettre désignant une ampoule à incandescence ?

---

3. À votre avis quelle est la lettre désignant une ampoule « économique » ?

---

4. À 22 centimes le kilowattheure, quel est le coût de l'électricité durant 10 ans pour un réfrigérateur de classe A++ qui consomme 150 kWh / an ?

---

5. À 22 centimes le kilowattheure, quel est le coût de l'électricité durant 10 ans pour un réfrigérateur de classe B qui consomme 400 kWh / an ?

---

6. Indiquer tous les renseignements que l'on peut tirer de cette étiquette :

Énergie		Lave-linge
Fabricant		
Modèle		
<b>Économe</b>		<b>A</b>
<b>Peu économe</b>		
Consommation d'énergie kWh/cycle <small>(Sur la base des critères obtenus pour le cycle blanc 60°C dans des conditions d'essai normales)</small> La consommation réelle dépend des conditions d'utilisation de l'appareil		<b>0.95</b>
Efficacité de lavage <small>A: plus élevé G: plus faible</small>		<b>A B C D E F G</b>
Efficacité d'essorage <small>A: plus élevé G: plus faible</small>		<b>A B C D E F G</b>
Vitesse d'essorage (tr/mn)		<b>1200</b>
Capacité (blanc kg)		<b>5,0</b>
Consommation d'eau L		<b>48</b>
Bruit [dB(A) re 1 pW]	Lavage	<b>51</b>
	Essorage	<b>65</b>
Norme EN 60456 Directive 95/12/CE relative à l'étiquetage des lave-linge		

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---

## Chapitre 10 SOURCES LUMINEUSES

### 10.1 Classification

Les sources lumineuses peuvent se classer, dans l'état actuel de la technique, en plusieurs catégories :

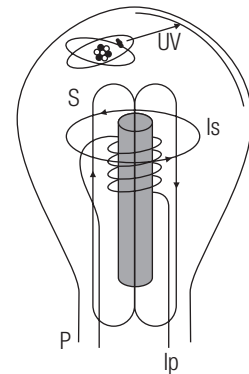
- La première comprend les lampes dont le fonctionnement est basé sur le principe de l'incandescence d'un filament.

Ce type de lampe a une efficacité lumineuse très mauvaise (95 % de chaleur – 5 % de lumière). Ce genre d'ampoule est en phase de disparition des surfaces de ventes.

- La deuxième catégorie comporte les sources de lumière qui utilisent le phénomène de la décharge électrique dans les gaz, c'est le cas des lampes à fluorescence, à vapeur de mercure et des lampes à vapeur de sodium.

- La troisième catégorie comporte des sources de lumière qui relèvent d'une technique différente : l'induction d'un courant à haute fréquence dans des gaz. C'est la combinaison de l'induction d'un courant HF dans un gaz avec une matière fluorescente qui se trouve sur les parois intérieures de la lampe et qui génère la lumière.

- La quatrième comporte les lampes à LED.
- La dernière catégorie découle de la transformation directe de l'énergie du courant alternatif en lumière par le phénomène d'électroluminescence.
- L'éclairage par fibre optique n'est pas traité dans ce manuel car c'est juste une manière particulière d'éclairer en utilisant une source citée ci-dessus ou une source naturelle.



### 10.1.1 Label énergie

Comme pour tous les autres appareils électroménagers, les lampes ont leur étiquette énergétique. Leur classe énergétique dépend directement du type de source.

#### Classification des sources en fonction de leur efficacité énergétique :

Energie		<i>Efficacité</i> énergétique	<i>Efficacité [lm/W]</i> (approximation)	<i>Type de lampe</i> (exemples)
		$EEI < 0,10$	entre 180 et 200	Sodium
		$0,10 < EEI < 0,16$	entre 115 et 130	LED
		$0,16 < EEI < 0,23$	entre 50 et 115	Tube fluorescent
		$0,23 < EEI < 0,30$	entre 21 et 51	LFC et halogène
		$0,30 < EEI < 0,42$	entre 16 et 20	Halogène
		$0,42 < EEI < 0,60$	entre 13 et 15	Halogène peu performant
		$0,60 < EEI < 0,80$	entre 11 et 13	Incandescence
		$0,80 < EEI < 0,90$	entre 9 et 11	retirées du marché

#### Notes

- En éclairagisme seules les lampes claires de classe C ou mieux sont admises depuis le 1<sup>er</sup> septembre 2012.
- L'efficacité lumineuse exprime le nombre de lumen (quantité de lumière) émis par watt électrique absorbé. Exemple une ampoule 5 W avec une efficacité de 110 lumen par watt produit 550 lumen.

### 10.1.2 Utilisation rationnelle de l'énergie électrique

Comme on le voit avec le tableau des classes énergétiques des sources lumineuses (ci-dessus), pour une même quantité de lumière produite, la consommation électrique peut varier d'un facteur de plus 5 ! Afin d'éviter un trop grand gaspillage de l'énergie électrique, les distributeurs et les fournisseurs européens d'ampoules électriques ont décidé de diminuer la part du marché des ampoules à incandescence au profit de sources de meilleure efficacité lumineuse.

En 2009, la consommation électrique pour l'éclairage avoisinait les 14 % de la consommation totale. Afin de diminuer cette consommation, les fabricants ont progressivement stoppé la production d'ampoule à incandescence dont l'efficacité était inférieure à D en procédant par étapes.

La dernière étape fut le 1<sup>er</sup> septembre 2012 avec l'interdiction de commercialiser les ampoules claires de classe E, F ou G. Il existe toutefois quelques dérogations transitoires pour certaines lampes décoratives comme par exemple pour les lampes soffites.

En parallèle à la mise sur le marché des lampes économiques (LFC) également appelées « économiques » et des lampes LED, les constructeurs ont créé de nouvelles lampes à incandescence à halogènes de style « ampoule traditionnelle » qui remplacent avantageusement et plus efficacement les modèles proscrits.

En même temps, un accent est mis pour améliorer la collecte et le recyclage des ampoules fluorescentes compactes (LFC) et des tubes fluorescents.

## 10.2 Les lampes à incandescences

### 10.2.1

#### Généralités

Développement des lampes à incandescence

- 1879 première lampe à filament de fibre de bambou carbonisé (1,4 lm/W) ;
- 1892 lampe à filament de carbone (3 lm/W) ;
- 1910 lampe à filament de tungstène étiré (8 lm/W) ;
- 1913 lampe à filament de tungstène spirale simple, et ampoule remplie de gaz (10 lm/W) ;
- 1936 lampe à filament doublement spirale (12 lm/W) ;
- 1959 lampe à halogénure (25 lm/W) ;
- 2009 début du retrait de la vente des lampes à incandescence de faible efficacité lumineuse (moins de 15 lm/W) ;
- 2011 remplacement des lampes à incandescence de faible efficacité lumineuse par des modèles à halogène dans les formes et les dimensions des anciennes ampoules ;
- 2012 fin du retrait de la vente des lampes à incandescence d'une puissance supérieure ou égale à 25 W.

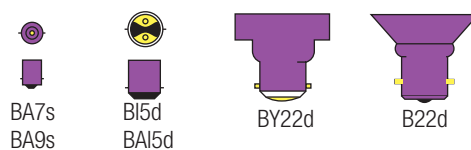
### 10.2.2 Construction et principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement est décrit dans le cours d' « électrotechnique fascicule 3 » au chapitre 15.4.1

### 10.2.3 Les culots



culots à vis



culots à baïonnette

Le rôle du culot de la lampe est d'assurer une liaison tant mécanique qu'électrique avec son support (douille de la lampe).

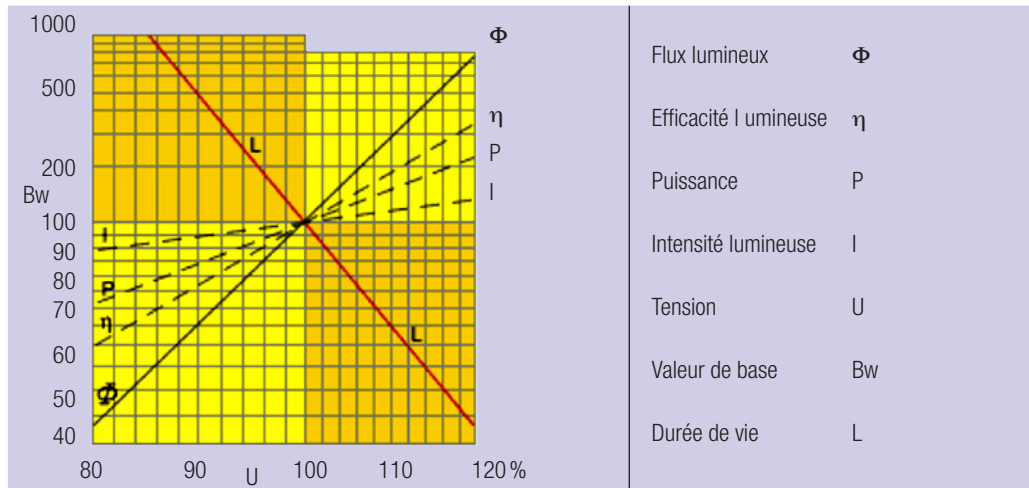
Les culots ont été normalisés en fonction de la puissance des lampes et des usages auxquels elles sont destinées.

Actuellement, les deux types de culots les plus utilisés pour les lampes standards sont :

- les culots à vis ou Edison (E27)
- les culots à baïonnette ou Swan (B22)

Les lampes à culot à baïonnette sont utilisées aux endroits soumis à des trépidations (trains, véhicules, etc.). On les utilise également pour l'éclairage provisoire des chantiers (vol).

**10.2.4**  
**Influence**  
**de la tension**



Le flux lumineux et la durée de vie d'une lampe dépendent tous les deux, de la température de fonctionnement du filament. Plus cette dernière est élevée, plus l'efficacité lumineuse est grande, mais aussi plus courte est la durée de vie.

Donc la durée de vie, la puissance et l'efficacité lumineuse dépendent directement de la tension du réseau.

**10.2.5**  
**Caractéristiques**  
**des ampoules**  
*10.2.5.1*  
*Formes*

Actuellement les ampoules à incandescence sont en phase de disparition des étals. D'ici quelques années, il ne restera plus que certaines ampoules peu puissantes.



lampe 15 W E14 (p.e. four)

**Lampes pour usage général**

CLASSIC: A, B, BW, P  
 SUPERLUX KRYPTON: E, B, BW, P  
 BELLALUX SOFT: T60, T45, G60-G120 B

**Lampes pour usage spécial**

CONCENTRA SPOT: R39-R95, PAR38-PAR56  
 DÉCOR: A, P, A, P, BA, BW  
 SPÉCIAL: T20-A, T32, SOFFITE/LINESTRA, P/T 22-32

A : forme standard  
 B : forme flamme  
 BW : forme flamme torsadée  
 P : forme sphérique  
 E : forme champignon  
 R : forme spot  
 G : forme globe  
 T : forme tube

On trouve déjà des ampoules halogènes ou d'autres technologies de formes identiques.

*10.2.5.2 Puissance*

Seulement jusqu'à 15 W.

*10.2.5.3*  
*Efficacité lumineuse*

Ce type de source lumineuse avait une efficacité variant entre 9 et 15 lm/W. Les modèles les plus puissants ayant la meilleure efficacité.

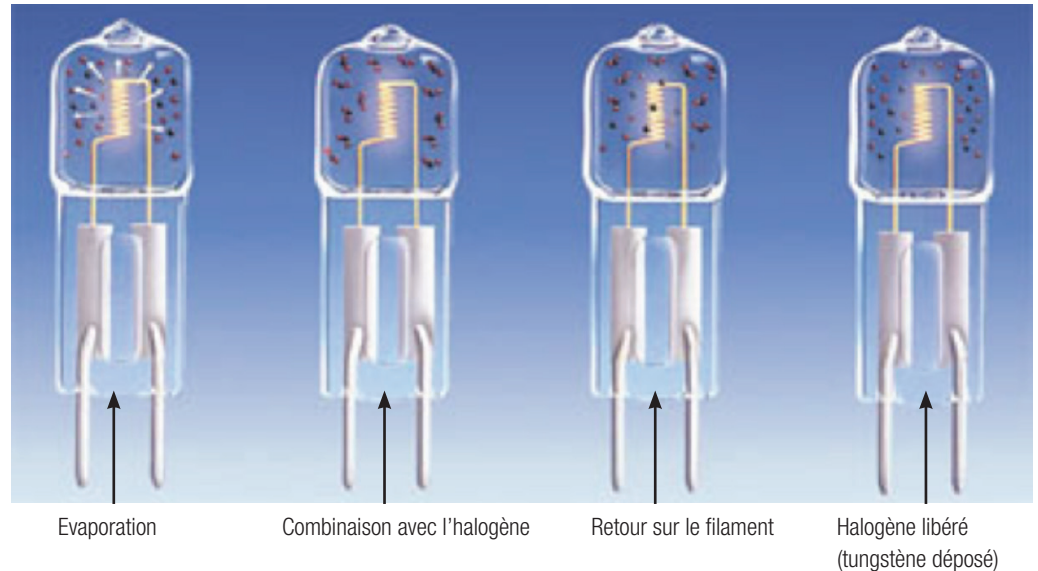
*10.2.5.4*  
*Durée de vie*

La durée de vie de ce type d'ampoule est estimée à 1000 heures (un peu plus pour des ampoules de faible puissance).

## 10.3 Les lampes Halogènes

### 10.3.1 Principe de fonctionnement *Caractéristiques*

Le principe de fonctionnement est décrit dans le cours d' « électrotechnique fascicule 3 » au chapitre 15.4.2.



Au cours du fonctionnement d'une lampe à incandescence, le tungstène s'évapore du filament sous la forme d'atomes qui se dirigent par convection vers les parois moins chaudes de l'ampoule et noircissent le verre.

Dans la lampe halogène, ceux-ci se combinent alors avec les atomes d'halogène présents dans l'atmosphère pour former une molécule. Cette dernière, est entraînée par convection vers le filament. Sous la chaleur du filament, la molécule se dissocie et les atomes de tungstène se déposent de nouveau sur le filament.

Le cycle halogène garantit un flux lumineux constant pendant toute la durée de vie de la lampe. Au contraire des lampes à incandescence ordinaires, il n'y a plus de noircissement du verre par des dépôts d'atomes de tungstène puisque ceux-ci sont ramenés sur le filament.

### 10.3.2 Avantages des lampes halogènes

Lumière **d'une clarté constante** pendant toute la durée de vie de la lampe.

Les lampes à incandescence usuelles perdent de leur luminosité au cours du temps. Ceci provient du fait que le tungstène (du filament) évaporé se dépose sur la face interne de l'ampoule en verre. Dans les lampes halogènes, cet inconvénient est empêché.

#### 10.3.2.1 *Lumière plus « blanche »*

Avec les lampes halogènes, les couleurs paraissent plus fraîches et plus vives (lampes à incandescence = 2800 K, lampes halogènes 3100 à 3400 K).

#### Note

- *l'énergie se répartit dans toutes les longueurs d'onde et est maximale pour une longueur d'onde précise. La loi de Wien indique que le produit de la température par la longueur d'onde qui définit ce pic d'émission est constant et vaut :  $\Theta \lambda = 2896 \mu\text{m K}$  (micromètre kelvins).*

### 10.3.2.2 Davantage de lumière

Pour une même puissance, les lampes halogènes à bas voltage par exemple, fournissent jusqu'à 80 % de flux lumineux supplémentaires par rapport aux lampes à incandescence usuelles (classe énergétique D à B) soit jusqu'à 40 lm/W.

### 10.3.2.3 Rentabilité augmentée

Une grande efficacité lumineuse permet une économie d'énergie. Une lampe à réflecteur basse tension (Halospot) de 50 W par exemple, est aussi lumineuse qu'un projecteur conventionnel de 120 W.

### 10.3.2.4 Longévité prolongée

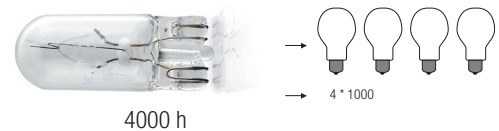
La plupart des lampes halogènes BT ont une durée de vie d'environ 2000 heures contre 1000 heures pour les lampes à incandescence usuelles.

Les lampes à TBT ont une durée de vie qui peut approcher 4000 heures, voire 5000 heures selon les modèles.

Longévité



Lampe BT



Lampe TBT

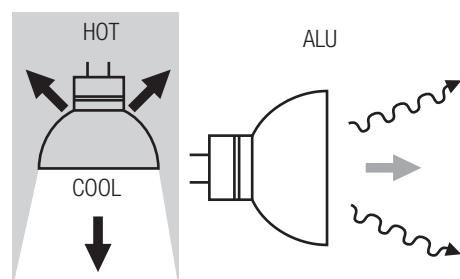
### 10.3.2.5 Dimensions réduites

La technique halogène permet de construire des lampes beaucoup plus compactes. Cela permet la réalisation de petits luminaires très efficaces.

### 10.3.2.6 Gestion de la température

Les lampes halogènes produisent beaucoup de chaleur (rayonnement infrarouge) ce qui a pour effet une augmentation de la température.

Selon les usages, il sera important de choisir une ampoule qui diffuse sa chaleur par l'arrière de la lampe ou alors au contraire par l'avant.



### 10.3.2.7 Gestion des UV

Selon CEI 60 598, la plupart des luminaires pour lampes halogènes doivent être munis d'un verre protecteur.

Les lampes à basse pression avec protection UV remplissent ces conditions grâce à l'emploi de verre en quartz absorbant les UV permet d'éviter l'émission d'UV.

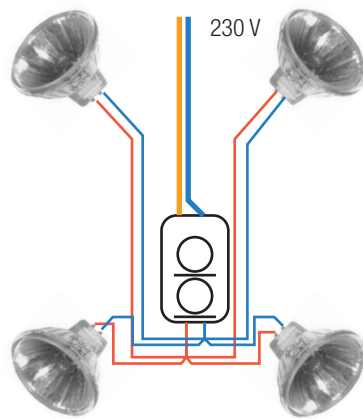




### 10.3.3 Installation des lampes halogènes basse tension

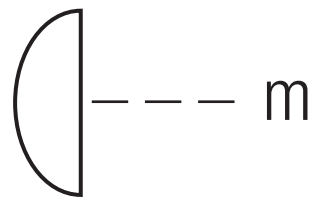
A puissance équivalente installée, le système TBT (12 V) voit le courant dans les fils augmenter d'un facteur de près 20 par rapport à une alimentation 230 volts. La conséquence de cette augmentation du courant est que le seul respect de la norme en ce qui concerne le dimensionnement des canalisations n'est pas suffisant. En effet, si on admet un courant de 15 A dans une canalisation en fil T 1,5 mm<sup>2</sup> d'une longueur de 20 m, la chute de tension sera d'environ 7 V. Cette chute de tension est pratiquement négligeable en 230 V car elle ne représente que 3%. Par contre dans une installation 12 V, cela représente 58% avec une tension de 5 V au lieu de 12 aux bornes de la lampe qui bien sûr n'émettra aucune lumière.

Afin de pallier cet inconvénient, il y a lieu de porter une attention particulière à la distribution électrique :

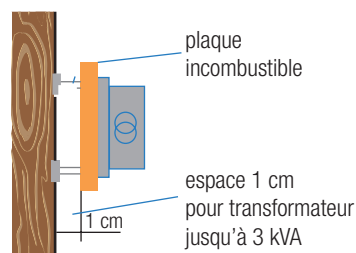


- distribution en étoile ;
- exécuter le câblage entre le transformateur et le luminaire le plus court possible, afin d'éviter des chutes de tension (ne pas dépasser 3 m) ;
- assurer une bonne connexion du câblage, serrer soigneusement les vis.

D'autres précautions sont à prendre en considération :



- prévoir un dégagement de chaleur suffisant dans le volume de montage du luminaire. Pour les lampes à faisceau froid, environ les 2/3 de la chaleur sont dirigés vers l'arrière ;
- prévoir une distance suffisante entre le luminaire et des matériaux inflammables éclairés (min. 0,5 m) ;
- assurer l'accessibilité au transformateur en tout temps, afin de permettre, si nécessaire, le remplacement sans problème du fusible défectueux ;
- installer le transformateur de telle manière qu'aucune vibration ne se propage afin d'éviter les bourdonnements ;
- intercaler une plaque en matériel incombustible lors du montage des transformateurs sur une matière combustible, et distancer le transformateur d'au moins 1 cm de la partie combustible (ventilation).



### 10.3.4 Les transformateurs

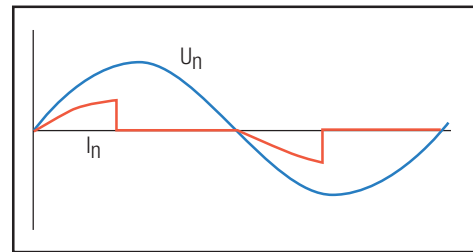
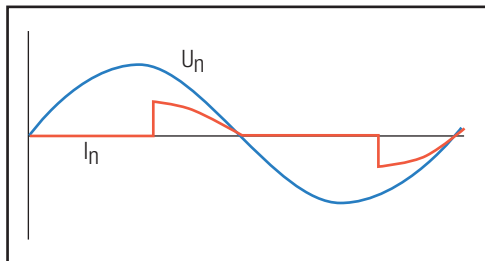
On utilise en principe deux types de transformateurs. Le transformateur traditionnel avec noyau en tôles de fer feuilleté ou le transformateur électronique.

Le transformateur traditionnel, souvent meilleur marché, a le désavantage de souvent faire un bourdonnement. Le modèle électronique a comme désavantage de créer des harmoniques et d'émettre des ondes électromagnétiques perturbatrices.

Puissances courantes des transformateurs : 20 – 40 – 60 – 80 – 105 – 200 et 300 VA.

**10.3.5**  
**La régulation**  
**des lampes halogènes**

Pour régler l'intensité lumineuse d'une lampe halogène on utilise des variateurs. On distingue deux types de variateurs :



**Variateur de lumière à coupure de phase ascendante.**

*Avantage(s)*

Ce variateur est adapté à la commande primaire des lampes halogènes à basse tension avec transformateur intégré. Les transformateurs toroïdaux ou blocs ainsi que les transformateurs électroniques adaptés à la régulation des variateurs à coupure de phase ascendante peuvent également être utilisés.

**Variateur de lumière à coupure de phase descendante.**

Ce variateur est adapté à la commande primaire de :

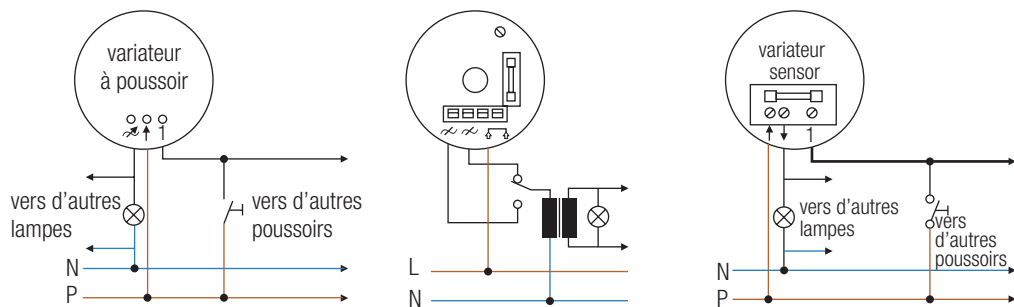
- lampes à incandescence 230 V
- lampes halogènes 230 V
- lampes halogènes basse tension avec transformateur électronique.

*Désavantages*

Ne convient pas pour les transformateurs électroniques uniquement prévus pour les coupures de phase descendante !

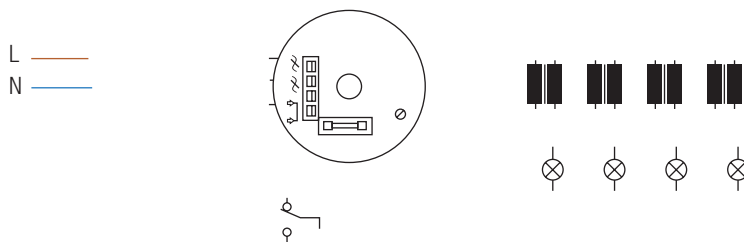
Ce variateur n'est pas adapté pour un raccordement à un transformateur conventionnel à noyau de fer ou torique.

*Exemples*  
*de raccordement*  
*de variateur*  
*de faible puissance*



*Exercice*

Compléter cette installation avec une commande en Sch.3.



## 10.3.6 Principales lampes halogènes

	<b>Lampe halogène III.12 V 20 W 10°</b> Ø 35 mm		<b>lampe à halogène</b> métallique haute pression (MHN-TD/MHW-TD) rendement de couleur Ra í 75... 85  <b>(MHN-TD)</b> forme soffite, température de couleur 4200 K
	Lampe halogène 1000 W 240 V R7 s Haloline UV-Stop  <b>lampe projecteur à halogène</b> position horizontale, température de couleur 3'000 K		<b>Lampe halogène BTT 100 W E27</b> 230 V  <b>Halolux</b> mat, position au choix, température de couleur 2900 K
	<b>lampe à réflecteur à halogène (Halopar)</b> 230 V / E27, température de couleur 3000 K, durée de vie 2000 h réflecteur en aluminium		<b>lampe à réflecteur à halogène (De Luxe Hi Spot 120)</b> 245 V, en verre pressé, réflecteur à facettes en aluminium avec verre de protection, clair, réglable, position au choix, température de couleur 2900 K
	<b>Osram Halogen ES Classic 42 W</b> 230 V, E27 Une lumière brillante, Jusqu'à 30 % d'économie d'énergie. Jusqu'à 65 % de réduction de coûts, Une durée de vie de 2000 h, Pas de noircissement de l'ampoule, Une couleur de lumière naturelle, Variation possible, Pas de taxe de recyclage, pas de plomb		<b>Lampe halogène, bas voltage, HLX64655 250 W 24 V G6,35</b>  clair, réglable, position au choix  <b>(Xenophot)</b> culot GY 6,35
	Lampe halogène 12 V 20 W GY 6,35 <b>Halostar-Starlite UV-Stop</b> stop UV, réglable, position au choix, température de couleur 3000 K  culot GY6,35 filament axial, basse pression, clair		<b>Lampe halogène Decostar</b> 12 V 50 W Lampes BV à réflecteur à lumière froide avec revêtement réfléchissant les infrarouges Lampe avec verre anti-reflets. Durée de vie moyenne de 4000 heures. Ø 51 mm, longueur 45 mm, culot GU 5,3, 12 V

## 10.4

### Les lampes à décharge

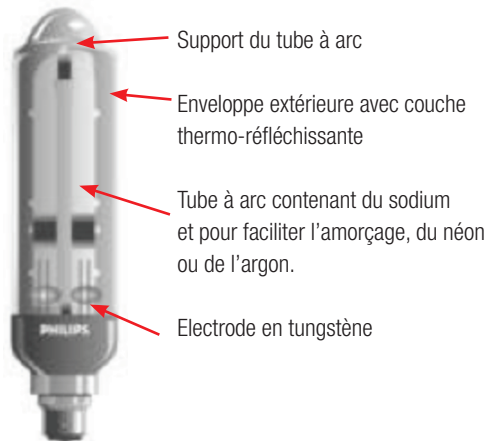
#### 10.4.1 Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement est décrit dans le cours d' « électrotechnique fascicule 3 » au chapitre 15.5.

#### 10.4.2 Lampes à vapeur de sodium

##### 10.4.2.1

##### Lampes à vapeur de sodium basse pression.



C'est la source lumineuse la plus efficace disponible sur le marché. Sa couleur jaune-orange coïncide avec la sensibilité spectrale maximale de l'œil. Elle procure une bonne perception visuelle et fait apparaître les contrastes.

Les lampes à vapeur de sodium basse pression sont des lampes qui engendrent une lumière monochrome jaune (598 nm).

La tension d'amorçage de 650 V, est obtenue par un autotransformateur à fuite. Il faut environ 8 minutes pour que le sodium soit complètement vaporisé.

L'efficacité lumineuse est très élevée et peut atteindre jusqu'à 197 lm/W, suivant le type de lampe.

Un condensateur peut être raccordé en parallèle avec le primaire de l'autotransformateur pour améliorer le facteur de puissance. Si des impulsions de télécommande basse fréquence sont transmises dans le réseau, il faut prévoir un filtre de blocage en série.

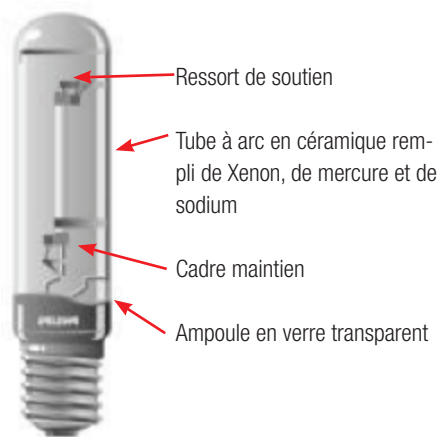
*Puissances disponibles* 18 – 35 – 55 – 90 – 135 – 180[W]. Culot : BY 22 d

##### *Applications*

éclairage des routes, passage de sécurité pour piétons, tunnels, chantiers.

##### 10.4.2.2

##### Lampes à vapeur de sodium haute pression



Les lampes à vapeur de sodium haute pression disposent d'un tube à arc en céramique et oxyde d'aluminium.

La lumière est produite par l'excitation d'atomes de sodium, allié à des processus complexes d'absorptions et de rayonnements secondaires sous différentes longueurs d'ondes. Il en résulte une lumière blanc-or agréable et chaude.

Lorsqu'on allume la lampe, le starter électronique envoie des impulsions de 2300 à 4000 V, ce qui crée un courant de décharge dans le xénon.

Le mercure et le sodium commencent alors à se vaporiser et à s'ioniser.

Après deux minutes, le niveau de lumière est acceptable, mais c'est seulement après 8 minutes que le flux lumineux parvient à sa valeur nominale.

Le réallumage à chaud n'est possible qu'après une minute.

*Efficacité lumineuse* jusqu'à 150 [lm/W].  
jusqu'à 50 [lm/W] pour les lampes miniatures.

*Température de couleur* 2000 – 3000 Kelvin

*Rendu des couleurs* Ra 14 pour celles à basse pression.  
Ra pouvant être entre 65 et 80 pour celles à haute pression (SHP blanches).

*Puissances disponibles* 35 à 1000 [W] Culots : E27 – E40

*Applications* éclairage des routes à grande circulation, zones piétonnes, gares de triage, halls d'usine.

### 10.4.3 Les lampes à leur cathodique

Le principe de fonctionnement est décrit dans le cours d' « électrotechnique fascicule 3 » au chapitre 15.5.2.

### 10.4.4 Les lampes à cathodes froides

Le principe de fonctionnement est décrit dans le cours d' « électrotechnique fascicule 3 » au chapitre 15.5.4 (lampe haute tension).

### 10.4.5 Les lampes à vapeur de mercure

#### 10.4.5.1 Lampe à vapeur de mercure haute pression

Le principe de fonctionnement est décrit dans le cours d' « électrotechnique fascicule 3 » au chapitre 15.5.5 partie 2.

#### 10.4.5.2 Lampe à vapeur de mercure à induction






Le principe de fonctionnement est décrit dans le cours d' « électrotechnique fascicule 3 » au chapitre 15.5.6.

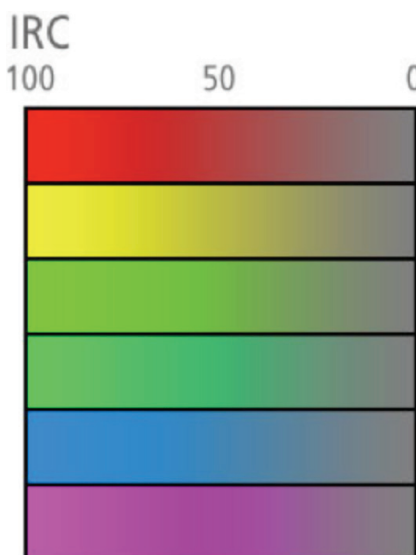
#### 10.4.5.3 Lampe à vapeur de mercure basse pression (lampe fluorescente ou luminescente)

Le principe de fonctionnement est décrit dans le cours d' « électrotechnique fascicule 3 » au chapitre 15.5.3.

### 10.4.5.3.1 Température et rendu des couleurs

La température de couleur d'une source lumineuse indique, approximativement, à quelle température un corps absolument noir chauffé produirait la même température de couleur de la lumière.

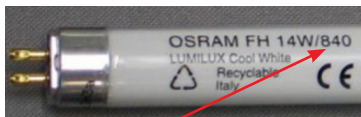
Longueur d'onde $\lambda$ [nm]	700	589	520	440	400
					
Température de couleur T [K]	4140	4920	5570	6580	7240



L'indication de la température de couleur de la lumière ne permet pas de définir clairement les caractéristiques du rendu des couleurs car elle ne donne aucune précision sur la composition spectrale de la lumière. Ce spectre n'est pas continu, mais est composé d'une succession de raies de couleur de différentes longueurs d'ondes.

L'indice de rendu des couleurs (IRC) permet de quantifier la « qualité » de la lumière blanche. C'est-à-dire, la capacité d'une source lumineuse à restituer 8 couleurs normalisées sans en altérer les teintes. L'indice de rendu des couleurs, ou IRC, s'exprime en Ra et peut prendre les valeurs de 0 à 100. Une lumière possédant la même répartition spectrale que la lumière du soleil possède un Ra de 100.

Sur les TL et les lampes fluocompacts, on trouve de plus en plus un code à 3 chiffres :

Code	IRC	Température de couleur	Teinte de la lumière	
827	82 à 85	2'700 K	Blanc très chaud	 code : 840
830		3'000 K	Blanc chaud	
840		4'000 K	Lumière du jour	
930	92 à 98	3'000 K	Blanc chaud	
940		4'000 K	Lumière du jours	

Classe de rendu des couleurs	Très bon		Bon		Moins bon	Mauvais	Non défini
	1A	1B	2A	2B	3	4	-
IRC	90-100	80-89	70-79	60-69	40-59	20-39	<20
Lapes à incandescence et lampe halogène à incandescence	x						
Tubes fluo	x	x	x	x	x		
Lampes fluo compactes	x	x					
Lampes à vapeur de mercure haute pression				x	x		
Lampes aux halogénures métalliques	x	x	x	x			
Lampes à vapeur de sodium haute pression		x		x	x	x	
Lampes à vapeur de sodium basse pression							x

*A chaque application sa couleur...*

On ne peut pas généraliser et affirmer que telle couleur est toujours mieux qu'une autre. Par exemple :

- pour des aquariums et des plantes, il est préférable d'avoir une « lumière du jour » ;
- pour une discothèque une lampe « lumière noire » a un effet de faire « ressortir le blanc » ;
- en médecine on stérilise parfois les instruments en les soumettant à des rayons UV ;
- dans un miroir on choisit une teinte chaude (température de couleur plus froide) ;
- dans une boucherie on choisira préférentiellement une lumière un peu « rouge » afin que la viande paraisse plus rouge, éclairée en blanc, elle paraîtrait blafarde et donc moins attirante. Cela est valable pour d'autres produits.

*Exemple*



A gauche des mandarines sans filet. Puis des mandarines dans un emballage rouge et tout à droite des mandarines dans un filet vert.

Quelles sont les mandarines qui paraissent les plus appétissantes ?

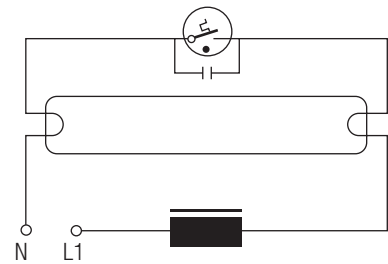
#### 10.4.5.3.2

*Couplage des lampes fluorescentes*

*Couplage inductif*

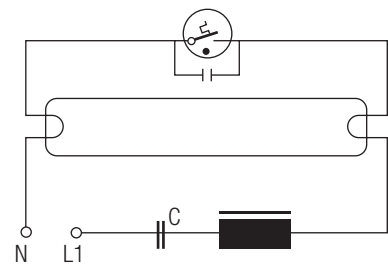
Ballast + starter est le couplage le plus communément utilisé et le moins onéreux. Préchauffage en série des électrodes. Tension d'amorçage (600 – 1000 V) fournie par le ballast à l'ouverture des contacts du starter. Amorçage sûr entre  $-5^{\circ}\text{C}$  et  $+50^{\circ}\text{C}$ . Facteur de puissance :  $\cos \Phi = 0,45$ .

Avec une self électronique, il n'y a plus de starter. Un autre avantage de la self électronique est que l'on peut varier l'intensité lumineuse de la lampe (avec un variateur spécial).



*Couplage capacitif*

Ce couplage est réalisé en associant un condensateur en série avec le ballast de la lampe. Il est obligatoire selon les PDIE toutes les 2 ou 3 armatures si elles sont équipées d'une self avec noyau ferromagnétique pour diminuer l'angle de déphasage.



*Le couplage tandem*

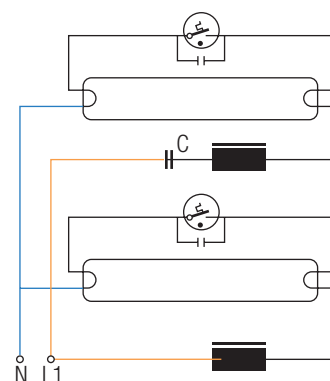
Les deux lampes fonctionnent en série, mais avec starters spécifiques. Préchauffage des électrodes en série.

*Couplage Duo (ci-contre)*

C'est l'association d'un couplage inductif et capacitif en parallèle.

Le courant et le flux lumineux du couplage capacitif est décalé par rapport au couplage inductif, ce qui élimine l'effet stroboscopique.

Ce couplage est utilisé dans des luminaires à deux lampes fluorescentes.



## 10.4.5.4

*Lampes fluocompactes (LFC)*

Les lampes fluocompactes ou lampes « économiques » font partie de la famille des lampes fluorescentes à vapeur de mercure. La principale différence est l'emploi d'un tube en verre courbé qui en réduit les dimensions et en permet l'emploi dans des luminaires « traditionnels ».

Actuellement, ces lampes sont vendues avec un ballast électronique incorporé.

*Avantages*

- l'efficacité lumineuse est d'environ 5 fois plus grande qu'avec une lampe à incandescence et atteint des valeurs comprises entre 50 et 70 lm/W ;
- la durée de vie de ce type de lampe peut atteindre 10 000 heures.



*Désavantages*

- le prix d'achat est nettement plus élevé que pour l'ampoule à incandescence ;
- le courant est de type impulsionnel ;
- la lampe génère des parasites ;
- la quantité de lumière émise diminue en cas de baisse de la température ambiante ;
- il faut attendre de quelques secondes à quelques minutes pour que la lampe fournisse 100 % de sa lumière ;
- on ne peut pas varier facilement la quantité de lumière émise (pas de variateur « domestique ») ;
- son élimination doit être contrôlée.

*Tableau comparatif du coût de lampes à incandescence et fluocompactes*

Pour éclairer un local on avait besoin de 5 lampes spots à incandescence 25 W que l'on remplace par un système avec 5 lampes spots fluocompactes de 5 W (même quantité de lumière émise)

Voici un tableau comparatif du coût pour 10 000 heures d'utilisation à 20 centimes le kWh :

Incandescence	fluocompact
Prix d'achat (1000 h) : $5 \cdot 2.20 = 11.00$ CHF 10 remplacement pour 10 000h : $10 \cdot 11.00 = 110.00$ CHF	Prix d'achat (10000h) : $5 \cdot 11.90 = 59.50$ CHF Aucun remplacement :
prix de l'énergie pour 10000h : $0,2 \cdot 10\ 000 \cdot 5 \cdot 0,025 = 250.00$ CHF	prix de l'énergie pour 10000h : $0,2 \cdot 10\ 000 \cdot 5 \cdot 0,005 = 50.00$ CHF
prix total $250.00 + 110.00 = 360.00$ CHF	prix total $50.00 + 59.50 = 109.50$ CHF
<b>Avant</b>	<b>Après</b>
	



## 10.4.5.4.1 Exemples d'exécution des lampes fluocompactes

<p><b>Lampes fluorescentes compactes</b> économiques-EC pour appareils auxiliaires ferromagnétique, starter intégré, Ø 34 mm</p> <p>culot-2-broches G23</p>		<p><b>lampe CFL Square 28 W/827</b> Pour exploitation sur ballasts électroniques (4 broches) et sur ballasts conventionnels (2 broches)</p> <p>Culot GR8</p>	
<p>PL Electronic Pro Refl</p> <p>Intensité lumineuse élevée. 80 % du flux nominal est atteint après 2 minutes. Plus de 80 % du flux sur une large plage de température ambiante (-20 à + 55°C)</p> <p>Compatible avec les lampes réflecteur R80 incandescence</p>		<p>lampe Dulux-L 36 W/880</p> <p>lampes fluocompactes / lampe fluorescente mono-culot à broches, avec 4 broches / un confort lumineux supérieur / longueur 411 mm / Ø 17,5 mm / culot 2 G11</p>	
<p><b>Genie 8Y 5 W E14 230 V</b></p> <p>lampe fluorescente compacte, 240 V, opalin, durée de vie 10'000 h, appareil auxiliaire électronique, intégré, non réglable, culot E14</p>		<p><b>Lampe fluorescente compacte,</b> Transformateur électronique, Allumage instantané, Excellent rendu des couleurs (Classe 1B), Couleur chaude (2'700°K), Allumage instantané, Durée de vie 8 000 heures.</p>	
<p><b>Lampes fluorescentes compactes</b> opalin, appareil auxiliaire électronique intégré, non réglable, durée de vie &lt;= 12 ans/3 h par jour</p>		<p><b>DULUXSTAR Twist 7 W/827 E14</b> 220-240 V Blanc chaud. Rayonnement lumineux dirigé avec angle de 60°. Durée de vie moyenne de 6 000 heures. Dimensions : Longueur env. 91 mm, Ø 50 mm</p>	
<p><b>Lampe fluocompacte 6335</b></p> <p>lampe économique E27 de 11 W.</p> <p>230 V / 50-60 Hz, 11 W, douille E27, 2'700 K (blanc chaud)</p>		<p>spot R50 PowerLight</p> <p>7 W E27 230 V lumière du jour 4'100 K, (=40 W de manière conventionnelle)</p>	
<p>spot R80 PowerLight</p> <p>15 W E27 230 V vert (=100 W de manière conventionnelle)</p>		<p>Lotus Powerlight</p> <p>10 W E27 230 V de lumière du jour 4100 K (=50 W de manière conventionnelle)</p>	

## 10.5 Les LED (DEL)

### 10.5.1 Généralités

Les lampes LED sont constituées par des diodes électroluminescentes, donc des composants électroniques qui émettent de la lumière lorsqu'ils sont parcourus par un courant électrique.

Si au début de leur commercialisation leur efficacité lumineuse était très faible (2-3 lm/W à la fin des années 70), elles ont atteint au début du troisième millénaire des valeurs respectables (jusqu'à dépasser 120 lm/W), dépassant ainsi les lampes à incandescence « normales », halogènes et FLC.

La lumière émise par les LED est généralement le rouge, le bleu, le vert, le jaune et les UV.

La couleur blanche étant un ensemble des autres couleurs (le mélange de toutes les longueurs d'onde du domaine visible), les LED blanches ne sont apparues que très tard. On peut varier la quantité lumière rouges, bleues ou vertes pour changer la température de couleur d'une source.

Une diode « blanche » est souvent constituée de 3 diodes (rouge, bleu, vert ou 2 bleu et une jaune) ou alors d'une diode ultraviolette (UV avec une couche fluorescente sur le verre).

On trouve également des luminaires équipés LED qui ont comme particularité de changer de couleur. On peut ainsi choisir la couleur émise par la lampe en fonction de l'heure par exemple.



#### Avantages

- durée de vie : 50 000 heures (l'indication L70 35'000 veut dire qu'au bout de 35'000 heures l'éclairage n'est plus que de 70 % de la valeur affichée),
- moins de pertes dans les lignes d'alimentation,
- moins d'intervention pour l'échange des ampoules,
- possibilité de régler la température de couleur émise,
- large gamme de produits permettant de penser l'éclairage différemment,
- produit 100 % de sa lumière tout de suite et indépendamment de la température ambiante.
- peu de dégagement de chaleur,
- moins de puissance installée,
- ne contient pas de mercure,

#### Désavantage

- Prix d'achat élevé.

#### Note

- *On admet que le passage de l'incandescence sans ou avec halogène au système LED est bénéfique déjà au bout de 3 à 4 ans (y compris l'investissement en matériel) même sans prendre en considération l'augmentation probable du prix de l'énergie électrique.*

#### Application

Ces lampes ont déjà beaucoup d'applications d'éclairage. Par exemple, elles équipent déjà des feux de voiture (inutile de placer un filtre rouge qui retient 80 % de la lumière émise car la diode émet une lumière rouge) ou de circulation.

Elles ont aussi des applications particulières telles que l'éclairage sous-marin pour filmer des animaux sans les faire fuir (diode proche de l'infrarouge) ou l'utilisation en médecine chirurgicale. Actuellement, elles ont conquis également l'éclairage de l'habitat.

Les lampes LED sont également utilisées dans la décoration, simulation de bougie, éclairage de couleur, lampe de poche, lampe de table avec choix de la couleur émise.

Dans certain cas – veilleuse, éclairage de cadran, etc. – on utilise des lampes électroluminescentes qui fonctionnent selon le même principe mais sont constituées d'autres matériaux et qui ont l'avantage de se brancher directement sur le réseau.

### 10.5.2 Commande des lampes LED



L'alimentation des lampes LED doit se faire en utilisant des transformateurs.

Si l'on veut pouvoir changer la couleur émise par la lampe, il faudra un transformateur avec organe de commande incorporé commandé à distance ou télécommandé.



Il existe également des luminaires LED avec détecteur de présence incorporé (alimentation par pile dans cet exemple).

### 10.5.3 Exemples de lampes LED

Decospot LED PAR WS16R white E14 230 V BLI		DecoLED E14 B40 bleu	
<b>Parathom®</b> R50 lampe à LED professionnelle pour tension réseau Très petite consommation d'énergie, résistante aux chocs et vibrations Ni UVs ni IRs dans le rayonnement lumineux /15° / 50-60 Hz		DecoLED Outdoor E27 G 50 blanc froid	
<b>Parathom Classic</b> 0,5 W color changing E27 Ø=55 mm, pour tension réseau, Résistante aux chocs et vibrations, faible émission de chaleur. Forme de lampe à incandescence Pour l'intérieur ou l'extérieur.		<b>Parathom Globe</b> 1,4 W E27 Ø=95 mm rouge pour tension réseau. Résistante aux chocs et vibrations, faible émission de chaleur. Forme de lampe à incandescence classique. Pour l'intérieur ou l'extérieur. 50-60 Hz.	
Decospot LED PAR CC16R Color changing GU10 230 V BLI		<b>LINEARlight Flex Module DEL</b> (variable) sur circuit imprimé flexible.  Les modules peuvent être employés pour des longues lignes lumineuses,	

## 10.6 Symboles utilisés pour les ampoules

	<p>Correspondance entre l'actuelle puissance (53 W) et celle d'une ancienne ampoule à incandescence qui produirait la même quantité de lumière soit 850 lm</p>		<p>Nombre d'enclenchements assurés sans modification de la durée de vie</p>
	<p>2 000 heures d'utilisation ce qui correspond environ à 2 ans d'utilisation dans l'habitat soit 2h45 par jour</p>		<p>Produit 100 % de la lumière sans délais</p>
	<p>Température de couleur : 2'800 K (blanc chaud)</p>		<p>Ne pas toucher avec les doigts</p>
	<p><b>Energy C class</b></p> <p>classe énergétique C (entre 16 et 20 lm/W)</p>		<p>Ne doit pas être mis dans une poubelle avec les ordures ménagères</p>
	<p><b>dimmable</b></p> <p>Possibilité de régler le flux lumineux avec un variateur pour incandescence</p>		<p>Recyclable</p>
	<p>N'est pas compatible avec le fonctionnement d'un variateur standard.</p>		<p>Avec Filtre UV</p>
	<p>Débrancher le luminaire avant chaque intervention</p>		

**10.7 Questionnaire**

1. Selon quels principes les lampes à incandescence produisent-elles de la lumière ?

---

---

---

---

2. Quelle est la matière utilisée pour la fabrication d'un filament d'une lampe à incandescence ?

---

3. Pourquoi utilise-t-on cette matière ?

---

---

4. Quels sont les gaz utilisés pour le remplissage des ampoules à incandescence ?

---

---

5. Citer 3 culots à visser utilisés pour les lampes à incandescence :

---

---

6. A quoi reconnaît-on une ampoule utilisable dans un four ?

---

---

7. Quelle est la lampe qui a la plus grande efficacité : une lampe à incandescence de 230 V/40 W ou une de 24 V/40 W ?

---

---

8. Citer la puissance absorbée des diverses lampes ancestrales à incandescence :

---

---

9. Dans quelle proportion varie, de l'état froid à l'état chaud, la résistance d'un filament en tungstène d'une lampe à incandescence ?

---

---

10. Quelle est la résistance à 20°C d'une ampoule 230 V 60 W à incandescence ?

---

---

11. Citer 4 avantages des lampes halogènes par rapport aux lampes à incandescence ancestrales.

---

---

---

12. Pour quelle raison la reproduction des couleurs est-elle meilleure avec une lampe halogène qu'avec une lampe à incandescence ?

---

---

---

13. Sur quoi faut-il particulièrement porter son attention lors de la mise en place d'une lampe halogène ?

---

---

14. On installe 6 lampes halogènes de 50 [W] 12 [V]. Calculer le courant, la section de la ligne et la puissance dissipée par la ligne qui a une longueur de 12 [m].

---

a) si le transformateur est installé à côté des luminaires 12[V].

---

---

b) si le transformateur est installé au tableau.

---

---

---

---

15. Quelle est la fonction de la couche fluorescente se trouvant sur les parois intérieures du tube ?

---

---

16. Pour quel usage utilise-t-on les tubes fluorescents sans couche fluorescente ?

---

---

17. Citer deux types de ballast utilisés pour les tubes fluorescents.

---

---

18. Pour quelle raison peut-on, une fois que le tube fluorescent est amorcé, débrancher le starter sans que la lampe ne s'éteigne ?

---

---

19. Quel est le facteur de puissance d'un luminaire fluorescent inductif ?

---

20. Quel est le principal avantage du montage DUO ?

---

---

21. Où le montage DUO est-il utilisé ?

---

---

---

22. Qu'est-ce qui influence négativement la durée de vie d'un tube fluorescent ?

---

23. Qu'est-ce qu'un montage tandem ?

---

24. Citer 4 avantages des lampes fluocompactes par rapport à l'halogène

---

---

---

25. Quelle est l'efficacité de ces lampes ?

---

26. Quel type de ballast est utilisé pour les lampes FLC à alimentation intégrée ?

---

---

27. Citer les applications d'une lampe à induction :






---

---

28. Peut-on commander par un gradateur une lampe LFC ?

---

---

OSRAM DULUXSTAR® Mini Twist	
W	11 W
lm	660 lm
T[Kelvin]	2500 K = warm comfort light
R <sub>a</sub>	≥ 80
 → 	< 40 s = 60 % light
	—
t[h]*	8000 h = 8 years (≈ 2.7 h/day)
	5000
Hg	1.6 mg
V · Hz	220-240 V · 50-60 Hz
	E14
<a href="http://www.osram.com/energysavers">www.osram.com/energysavers</a>	

29. Quelle est l'efficacité lumineuse de cette ampoule et quelle est sa technologie ?

---

30. A quelle puissance de lampe à incandescence cette ampoule équivaut-elle ?

---

31. Quel est le flux lumineux émis 40 s après son enclenchement ?

---

32. Combien de temps durera-t-elle si elle est utilisée 8h/jours tous les jours ?

---

33. Quelle est sa température de couleur ?

---

34. Quel serait le numéro de son code à 3 chiffres ?

---

35. Calculer l'économie réalisée avec cette lampe au bout de sa période de vie (par rapport à l'incandescence) :

---



---

36. Pour quel type de culot cette lampe est-elle construite et combien d'allumages supporte-t-elle ?

---

37. Quelle est l'efficacité lumineuse atteinte ainsi que la durée de vie des lampes LED ?

---



---



---



## Chapitre 11 TECHNIQUE D'ÉCLAIRAGE

### 11.1 Définitions et calculs

La lecture du chapitre 15.1 du fascicule 3 de l' «électrotechnique» vous apprendra la nature de la lumière, et ses principales caractéristiques telles que la longueur d'onde et la température de couleur.

Son chapitre 15.2 vous définit les grandeurs et explique les calculs relatifs à l'éclairagisme (intensité lumineuse, flux lumineux, efficacité lumineuse, rendement et éclairement).

### 11.2 Conditions d'un bon éclairage

Pour procurer un sentiment de confort visuel, un éclairage devra répondre aux conditions suivantes :

1. procurer un niveau d'éclairage suffisant pour que l'on obtienne les luminances nécessaires,
2. ne pas provoquer d'éblouissement, de papillotement ;
3. ne pas provoquer d'ombres gênantes, soit par la direction de la lumière, soit par trop de contraste ;
4. donner un modelé suffisant des objets. Il ne faut pas que l'éclairage soit trop directionnel (ombres très contrastées) ni trop diffus (perte de l'effet de modelé) ;
5. avoir une teinte de lumière appropriée ;
6. procurer un rendu des couleurs conforme aux besoins ;
7. ambiance lumineuse adéquate. Les dernières recherches montrent l'importance physiologique d'un bon éclairage. Le bien-être, l'humeur, la productivité sont nettement améliorés ;
8. consommation d'énergie réduite.

#### 11.2.1 Valeurs recommandées

	E, [lx]		E, [lx]
<b>Bureaux</b>		<b>Hôtels, cafés, restaurants</b>	
Réception, guichet de téléphoniste, travaux simples	300	Réception, entrée	300
Travaux généraux, salles de conférences	500	Cuisine, buanderie, lingerie	500
Dessiner, traitement des cartes perforées	1000	Restaurant, salle à manger	200
Bureaux paysagers	1000	Self service, buffet, office	500
		Lecture, salles de correspondance, travail à l'aiguille	500
		Salle de bains	300
<b>Locaux de vente</b>		<b>Théâtres, salles de concert, cinémas</b>	
Locaux de vente	300 – 500	Entrée, foyer, vestiaire	200
Grand magasin	500 – 750	Caisse	300
Self service	750-1000	Salles d'exercices, loges d'artistes	200
Vitrines	>1000	Salle du public pendant les entractes	200
		Pupitres de l'orchestre	500
<b>Expositions, musées, bibliothèques</b>		<b>Hôpitaux, cabinets de médecin</b>	
Locaux généraux d'exposition, collections, salle des livres, salle de lecture	300	Salles d'attente, de séjour	300
Table de lecture	500	Salles du personnel	500
		Salles d'examen, laboratoire	1000
<b>Habitations</b>		Préparation, salle d'opération	1000
Locaux auxiliaires	100	Chambres des malades, éclairage général	100
Buanderie	200		
Cuisine	300		
Salle de bain	300		

**Ecoles**

Salles de classe	300
Amphithéâtres, salles de cours, salles pour la chimie et la physique	500
Salles des maîtres, des professeurs, bureaux	500
Zone de circulation, couloirs, cages d'escaliers	100
Vestiaires, lavabos, toilettes douches	100
Halles de gymnastique, piscines couvertes	300

**Instruments, montres**

Travaux aux machines et de montage : fins	1000
très fins	1500 +
Ajustage, contrôle, étalonnage	1500 +

**Produits électrotechniques**

Travaux généraux	300
moyens	500
fins	750
très fins	1000
Ajustage, contrôle, étalonnage	1000

**Construction métallique, machines, appareils**

Travaux aux machines et de montage : grossiers	300
moyens	500
fins	750
très fins	1000
Ajustage, contrôle, étalonnage	1000

### 11.3 Mesure de l'éclairement

Pour mesurer l'éclairement, on utilise un appareil de mesure appelé **luxmètre**.

Les luxmètres sont des appareils très simples d'emploi. Ils possèdent une cellule photo-réceptrice qu'il suffit de placer perpendiculairement à la source lumineuse, On choisit la gamme de mesure et le nombre de lux à cet endroit s'affiche sur l'écran de l'appareil.

Actuellement numériques, ce ne sont pas des appareils d'une grande précision qui ont souvent entre 3 et ½ et 4 digits et une erreur variant entre 1 – 10 % d'erreur et jusqu'à 10 digits d'erreur constante.

**Exemple**

L'appareil ci-dessus est un luxmètre à 3 digits et demi et une erreur de **5 % + 5 digits**

- Il a donc une sensibilité de 2'000 points (palier de mesure). Ce qui représente 1 lux sur une échelle de 200 – 1'999 lux.
- Son erreur proportionnelle de **5 %** vaut lors de l'affichage de 724 lux :  $724 \cdot 0,05 = 36,2 \text{ lux}$ .
- Son erreur constante de **5 digits** vaut lors de l'affichage de 724 lux : **5 lux**.
- L'erreur absolue maximum est donc dans ce cas de 41,2 lux, soit 5,7 % de la lecture.

**Note**

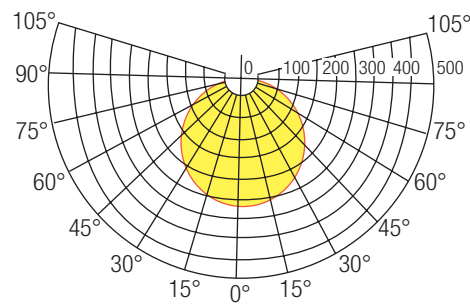
- *Ce n'est pas parce que le fabricant n'assure pas une plus grande précision que l'appareil indiquera une valeur avec l'erreur maximale. Il peut aussi afficher la bonne valeur ou n'importe quelle valeur comprise entre la valeur réelle  $\pm$  la somme des erreurs.*

## 11.4

### Lecture de graphiques

#### 11.4.1

#### Diagramme polaire pour luminaires



Pour lire ce diagramme, il faut considérer l'angle par rapport à l'axe du luminaire et lire l'intensité lumineuse émise (en candela) dans cette direction sur les arcs de cercle. Toutefois, l'intensité lumineuse correspond à l'éclairement à une distance de 1 m et au flux lumineux émis dans cette direction.

En supposant que ce luminaire est installé à une hauteur de 3 m, nous pouvons en déduire que juste sous le luminaire, ce dernier a une intensité lumineuse d'environ 275 cd (soit 30,6 lx à 3 m).

Lorsqu'on s'éloigne latéralement de 1 m de ce point, l'angle entre l'axe du luminaire et notre direction est de ( $\arctg 1/3$ ) 18 degrés et donc l'intensité lumineuse n'est alors plus que de 250 cd soit au sol un éclairement de 25 lx. En poursuivant dans la même direction de 2 m supplémentaires, l'angle est donc de 45 degrés et le flux n'est plus que de 180 cd, soit un éclairement au sol de 10 lx.

Lors de calculs il ne faut pas uniquement prendre en considération la surface, les rendements lumineux et le flux lumineux à produire, mais également le maximum de différence d'éclairement que l'on veut obtenir. Si on ne met qu'une lampe au milieu, le centre de la pièce est bien éclairé alors que les bords restent dans l'ombre (dans l'exemple précédent en s'éloignant de 3 m du centre de la pièce, l'éclairement diminue d'un facteur 3). En augmentant le nombre de luminaires, on obtient un éclairage plus uniforme.

Généralement, on peut diminuer la quantité de lumière émise si on opte pour un éclairage ponctuel (mettre les lampes au-dessus des places de travail avec un éclairage général plus diffus pour les zones de passage).

#### 11.4.2

#### Graphique photométrique pour spots

hauteur (en m)	Largeur ( $\varnothing$ en m)	E (Lux)
0,5	$\varnothing 1$	3200
1	$\varnothing 2$	800
1,5	$\varnothing 3$	355
2	$\varnothing 4$	200
2,5	$\varnothing 5$	130

Pour les spots, leur angle de diffusion de la lumière étant généralement assez fermé, le graphique utilisé indique directement l'éclairement obtenu à une certaine distance.

Par exemple, le spot ci-contre donne un éclairement de 200 lux à 2 m de la source et de 800 lux à seulement 1 m. On constate que la loi de la variation de l'éclairement au carré de la variation de la distance se vérifie pleinement ici.

#### Note

- Ce luminaire produit donc 2'500 lm. Il est équipé d'une ampoule fluocompacte de 60 W, le rendement du luminaire est d'environ 75 %.

## 11.5 Questionnaire

1. Un local mesure 12 m x 16 m et a un rendement de 42 %. On veut un éclairage de 320 lux. Calculer le nombre d'armatures TL 36 W / 230 V / 50 Hz /  $\cos \Phi$  0,48 / 3250 lumen.

---

2. Un atelier mesure 160 dm par 115 dm. Il est équipé de 30 armatures TL 36 W / 3250 lumen. On mesure sur les plans de travail 235 lux. Calculer le rendement de l'atelier :

---

3. Un local d'exposition en forme d'hexagone a un rendement de 42,5 %. La longueur d'un pan de l'hexagone mesure 4 m. On veut un éclairage de 386 lux. Combien faut-il de lampes halogènes de 50 W / 12 V / 910 lm. ?

---

4. Cet appareil porte les indications suivantes :

- affichage LCD 2000 points
- précision :  $\pm 4\% \pm 10$  digits

Quel est son nombre de digits ? \_\_\_\_\_

---

Calculer son erreur proportionnelle. \_\_\_\_\_

---

Calculer son erreur constante. \_\_\_\_\_

Calculer la valeur maximale affichable si la sensibilité affichée est de 1 lux.

---

Calculer la valeur minimale possible d'éclairage si la sensibilité affichée est de 1 lux.

---



5. Selon le graphique ci-contre, que vaut l'intensité lumineuse dans l'axe de la source ?

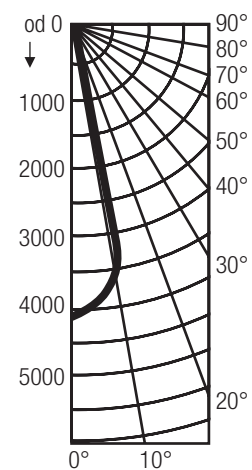
---

6. Que vaut l'éclairage à 1 mètre de la source (dans l'axe de la source) ?

---

7. Que vaut l'éclairage à 2,5 m de la source (dans l'axe de la source) ?

---



8. A quel type de luminaire avons-nous affaire ?

---

9. Quel est le flux lumineux de cette lampe ?

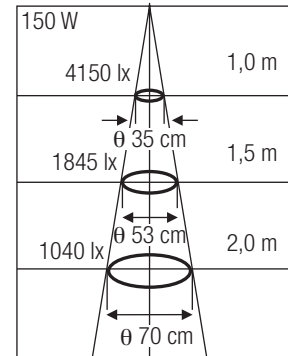
---

10. Quelle est la surface éclairée à 2 m de la source ?

---

11. Quel est l'éclairement à 4 m de la source ?

---



12. Quel est le flux lumineux émis par la source si  $\eta = 0,4$  ?

---

13. Quel est l'angle au sommet du cône d'émission de lumière ?

---

14. Des deux derniers graphiques, lequel à la plus grande intensité ?

---

15 Représenter à l'échelle 1 : 1 la trace de lumière si la source est à 25 cm au-dessus de la feuille.



## Chapitre 12 APPAREILS DE MESURES

### 12.1 But de la mesure

Les mesures servent à connaître avec un degré de précision – en rapport avec le but de la mesure – les grandeurs usuelles en électricité telles que :

- différence de potentiel (U)
- débit électronique (I)
- résistance (R)
- fréquence (f)
- puissance – (travail) (P – W)
- angle de déphasage (phi)
- capacité (F)
- etc.

Pour *l'installateur-électricien* ou *chef de projet en installation et sécurité*, les mesures servent également à contrôler si la sécurité des personnes et des choses d'une installation est conforme à l'OIBT. Cette ordonnance demande, entre autres, que le contrôle des installations électriques se fasse avec différentes mesures :

- courant de boucle
- isolement
- test du DDR (FI)
- ordre des phases
- continuité du PE – PA, mesure de terre etc.

#### Note

- *L'obtention de « bons résultats » lors des mesures ne garantit pas que la sécurité des personnes et des choses est réalisée.*

### 12.2 La mesure

Pour faire une mesure il faut choisir un appareil qui permet de mesurer la grandeur recherchée ou d'autres grandeurs qui permettront de la calculer.

#### Exemples

avec un voltmètre et un ampèremètre, on peut calculer l'impédance  
avec un voltmètre, un ampèremètre et un wattmètre, on peut calculer le  $\cos \Phi$

#### Rappels

Un ampèremètre mesure un débit d'électrons et doit se placer en série dans le circuit. Sa résistance interne doit être la plus petite possible.

Un voltmètre mesure une différence de potentiel entre deux points et se connecte en parallèle. Sa résistance interne doit (le plus souvent) être la plus grande possible.

Un ohmmètre est un ampèremètre avec une source de tension en série.



La mesure se fait sans autre tension que celle de l'appareil de mesure. Le déplacement de l'aiguille est proportionnel au courant et l'échelle de lecture est directement graduée en  $[\Omega]$ . La graduation est donc inversée par rapport à celle du courant (la répartition de l'échelle est une hyperbole).

12.2.1  
Exercices  
« appareils  
de mesure »



Nom : \_\_\_\_\_ Décrire l'usage et faire le schéma de raccordement  
\_\_\_\_\_

symboles ; \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



Nom : \_\_\_\_\_ Décrire l'usage et faire le schéma de raccordement  
\_\_\_\_\_

symboles ; \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



Nom : \_\_\_\_\_ Décrire l'usage et faire le schéma de raccordement  
\_\_\_\_\_

symboles ; \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



Nom : \_\_\_\_\_ Décrire l'usage et faire le schéma de raccordement  
\_\_\_\_\_

symboles ; \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



Nom : \_\_\_\_\_ Décrire l'usage et faire le schéma de raccordement  
\_\_\_\_\_

symboles ; \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Comment déterminer cos Phi sans cosphimètre ?

\_\_\_\_\_



## 12.3 Précision des appareils de mesure

Lors de l'emploi d'appareils de mesure, il y a plusieurs erreurs qui peuvent engendrer une différence entre la valeur lue et la valeur réelle (résistance de l'appareil de mesure, erreur de lecture, parallaxe, mauvais choix d'échelle, etc.).

### 12.3.1 Appareils de mesure numériques (AMN)

#### 12.3.1.1

##### Précision des appareils de mesure numériques

L'erreur de mesure proprement dite, se compose de deux types d'erreurs :

- une dépendante de l'électronique d'affichage ;
- l'autre sur la découpe du signal (lors de la transformation analogique – numérique).

Elle est généralement donnée en % de la lecture  $\pm$  la constante. L'erreur constante (en « unités ») indique de combien le chiffre de poids le plus faible peut être faux. Le chiffre de poids le plus faible représente la résolution de l'appareil (*sur une échelle de 100 mV et 2'000 points de mesure, la résolution est de 0,1 mV*).

#### Exemples

On mesure 50 V sur une échelle 100 V avec un AMN à 2000 points de mesure, précision 1 %  $\pm$  2 unités (50 mV).

erreur de lecture : 0,5 V erreur cste 0,2 V

**Erreur totale :** = Somme des erreurs = 0,7 V

On mesure 50 mA sur une échelle 200 mA, avec un AMN à 2000 points de mesure, précision 2 %  $\pm$  4 unités.

erreur de lecture : 1 mA erreur cste 0,4 mA

**Erreur totale :** = Somme des erreurs = 1,4 mA

#### 12.3.1.2

##### Nombre de points de mesure des AMN

Le nombre de points de mesure détermine la sensibilité maximum d'un AMN. Cette valeur est exprimée en digits. Un appareil à 3 ou 4 digits peut afficher 3 ou 4 chiffres de 0 à 9 et comporte 1'000 ou 10'000 points de mesure. Un appareil à N 1/2 digits peut afficher un chiffre supplémentaire devant (mais pas jusqu'à 9) dépendant du nombre de point de mesure (en général, pour un 3 ½ digits 2000, mais parfois 3'000, 4'000, etc. points de mesure). Certains fabricants laissent dans ce cas la désignation 3 ½ digits et d'autres parlent de 3 ¾ digits.

Exemples (sans prendre en considération les erreurs)

digits	nombre de point de mesure	affichage	exemples de valeur	valeur affichée / sensibilité
3	1000	0,00 – 9,99 0,00 – 99,9 0,00 – 999	0,5467 1,1789 2,781 12,345 37,567 123,876	0,55 ou 547 m / 0,01 1,18 / 0,01 2,78 / 0,01 12,3 / 0,1 37,6 / 0,1 124 / 1
3 ½	2000	0,00 – 1,999 0,00 – 19,99 0,00 – 1999 <i>Note : l'affichage de chiffre de gauche ne peut être que 1 ou vide</i>	0,5467 1,1789 2,781 12,345 37,567 123,87	0,547 / 0,001 1,179 / 0,001 02,78 / 0,01 12,35 / 0,01 37,6 / 0,1 123,9 / 0,1
3 ½ ou 3 ¾	3000	0,00 – 2,999 0,00 – 29,99 0,00 – 2999 <i>Note : l'affichage de chiffre de gauche ne peut être que 1,2 ou vide</i>	2,781 12,345 37,567 123,876	2,781 / 0,001 12,35 / 0,01 -37,6 / 0,1 123,9 / 0,1

## 12.3.1.3

Exercices : calculs  
d'erreurs des AMN

Indiquer la page de valeurs affichées de la grandeur mesurée avec un appareil numérique 3 digits :

valeur mesurée	1 %, 2 digit		2 %, 3 digit		1 %, 1 digit	
	U max	U min.	U max	U min.	U max	U min.
237.678 V						
102.5476 V						
82.345 V						
2.5678 V						
12.234 V						

Indiquer la page de valeurs affichées de la grandeur mesurée avec un appareil numérique 3¼ digits à 3'000 points de mesure :

3'000 pdm valeur mesurée	1 %, 2 digit		2 %, 3 digit		1 %, 1 digit	
	U max	U min.	U max	U min.	U max	U min.
237.678 V						
102.5476 V						
82.345 V						
2.5678 V						
12.234 V						

## Note

- Il existe des appareils peu précis ou dont la sensibilité n'est pas utile et qui n'affichent que 3 chiffres alors qu'ils ont 3 ½ digits comme par exemple les luxmètres.

**Résolution 1 lux, précision  $\pm 4\%$  +10 digits en dessous de 10'000 lux**

## Exercice 1

Un AMN ( $E= 2\% + 4$  digits) affiche 62,6 A. Que vaut l'erreur totale possible en ampère et en pourcent?

## Exercice 2

Un AMN ( $E= 2\% + 3$  digits) affiche 13,72 V. Que vaut l'erreur totale possible en volt et en pourcent?

### 12.3.2 Précision des appareils de mesure analogiques (AMA)

#### Exemple

La précision d'un AMA est définie par sa *classe de précision*. Elle est indiquée par un nombre (0,1 ; 0,2 ; 0,5 ; 1,0 ; 1,5 ; 2,5 ; 5,0) inscrit sur le cadran de l'appareil. Ce nombre indique l'erreur possible, exprimée en [%] de l'étendue de mesure.

Un AMA a une étendue de mesure de 30 [V] et une classe de précision de 1,5. Nous pouvons calculer son erreur absolue :

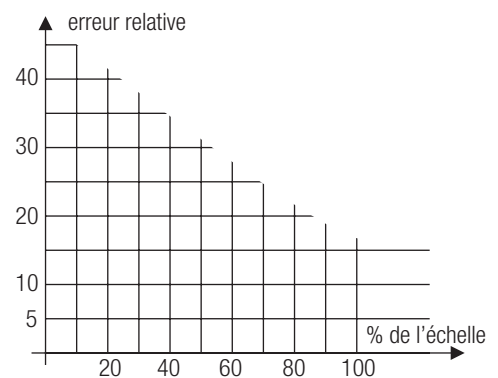
$$E_a = \text{étendue de mesure} \cdot \text{classe de précision} / 100 = 30 \cdot 1,5 / 100 = 0,45 \text{ [V]}$$

L'erreur absolue peut être constante sur toute la plage de mesure à cette échelle. Nous pouvons calculer l'erreur relative lorsque la mesure est de 10 [V] :

$$E_r = \text{erreur absolue} \cdot 100 / \text{valeur lue} = 0,45 \cdot 100 / 10 = 4,5 \text{ [%]}$$

Tracer sur la figure ci-contre la courbe de l'erreur relative d'un AMA qui a une classe de précision de 5 pour une lecture à 20, 40, 60, 80 et 100 V sur une échelle à 100 V :

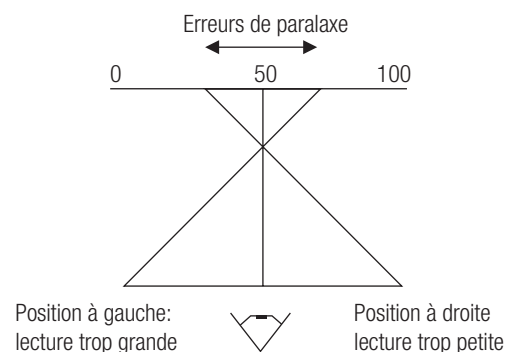
Nous voyons que la variation de l'erreur relative en fonction de la mesure en % de l'échelle choisie n'est pas du tout constante. Pour avoir toujours une erreur admissible en fonction de la classe de précision de l'AMA choisi, il faudra toujours avoir la lecture dans les deux tiers supérieurs de l'échelle choisie. C'est pour cela que les AMA ont des calibrages qui répartissent la plage complète de mesure régulièrement – par multiple de 3 (1, 3, 10, 30, 100, 300).



#### 12.3.2.1 Autres erreurs liées à l'emploi d'un AMA

D'autres erreurs existent et sont malheureusement dues à des erreurs de manipulations :

- mauvaise position de l'appareil (la bonne position est indiquée sur le cadran),
- erreur de lecture (mauvaise interprétation de l'échelle choisie),
- erreur de parallaxe (lecture non perpendiculaire au plan du cadran).



## 12.3.2.2

Exercices : calculs  
d'erreurs des AMA

Calculer les erreurs relatives et absolues dans chacun des cas suivants avec un appareil de classe de précision de 1,5 :

valeurs mesurée	échelle : 300 V		échelle : 100 V		échelle : 30 V	
	E abs	E%	E abs	E%	E abs	E%
230 V			-	-	-	-
100 V					-	-
80 V					-	-
25 V						
12 V						

Calculer les erreurs relatives et absolues dans chacun des cas suivants avec un appareil de classe de précision de 2,5 :

valeurs mesurée	échelle : 300 V		échelle : 100 V		échelle : 30 V	
	E abs	E%	E abs	E%	E abs	E%
230 V			-	-	-	-
100 V					-	-
80 V					-	-
25 V						
12 V						

**Exercice**

Quelles sont les valeurs minimale et maximale d'une résistance si on a utilisé deux AMA d'une classe de précision de 2,5. Le voltmètre indique 225 V sur une échelle de 300 V et l'ampèremètre affiche 4,56 A sur une échelle à 10 A ?

---



---



---



---



---



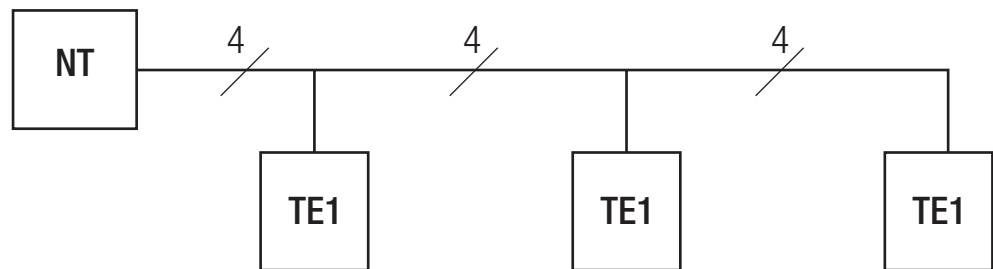
---

## Chapitre 13 KNX

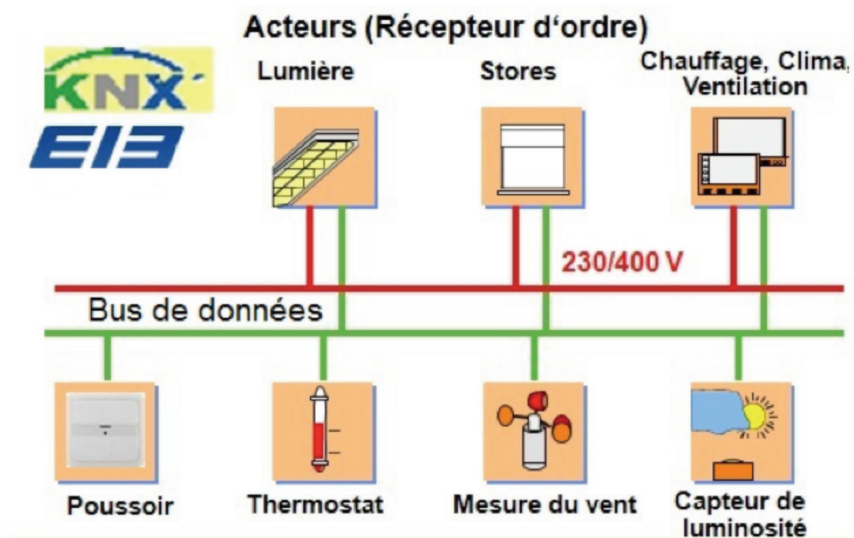
### 13.1 Notion de bus

Un bus est une liaison à 2 ou 4 fils qui relie généralement un ou plusieurs organes de gestion, des acteurs et des actionneurs.

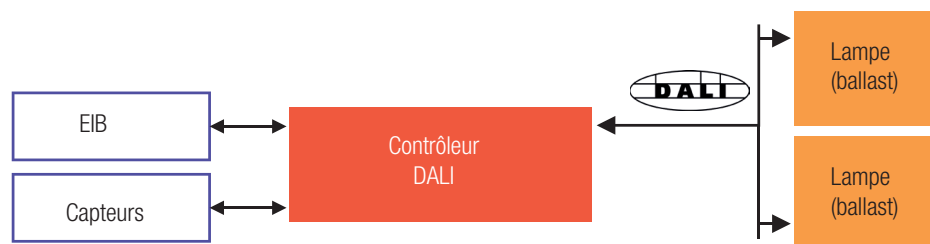
- Bus S en téléphonie : 4 fils relient tous les terminaux numériques entre eux et à la terminaison de réseau (NT1 ou NT2).



- Bus KNX en domotique : 2 fils relient les différents détecteurs et actionneurs entre eux et aux boîtiers de commande centrale.



Le principe d'un bus de commande est de transmettre une information identique à tous les participants (acteurs raccordés). Celui pour lequel cette information est destinée agit en fonction du contenu du message.



## 13.2 Généralités

Le Bus **EIB** (European Installation Bus) était un standard européen normalisé **ISO** (International Standardisation Organisation). Il a été créé en 1987 par quelques constructeurs européens d'appareils électriques. C'est un système ouvert (non propriétaire), c'est-à-dire que le système n'est pas dépendant d'un fournisseur. On peut sans problème utiliser des appareils de marques différentes dans une seule installation. Il est utilisé par plus d'une centaine de fabricants, sur des milliers de produits. En 1999, cette association crée de l'association Konnex (**KNX**) qui devient l'appellation usuelle.

Ce système, contrairement aux automates programmables qui ont une « intelligence » centralisée dans un seul module ou éventuellement répartie sur plusieurs modules déportés, est basé sur une « intelligence répartie ». Chaque point communiquant connecté au bus dispose de son propre microprocesseur qui gère la communication sur le réseau et qui est capable d'émettre ou de recevoir des messages. Le prix de chaque composant est donc relativement élevé.

## 13.3 Installation

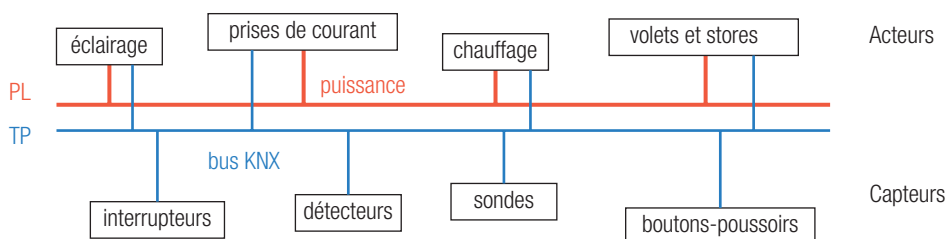
### 13.3.1 Le bus

La communication entre les différents appareils raccordés se fait en général par une liaison à 2 fils appelée ligne pilote séparée. (**PL** : power line)

Il est cependant possible de communiquer soit :

- par une paire torsadée (**TP** : Twisted Pair) ;
- par courant porteur (les signaux transitent par le réseau 230 V) ;
- par radio fréquence (**RF** : Radio Frequency) ;
- par infrarouge (**IR** : InfraRed) ;
- Ethernet (KNX sur IP).

Le circuit de puissance est alimenté en 230 ou 400 V / 50 Hz.



Le circuit de puissance n'alimente que les acteurs (récepteur : éclairage, prises, chauffage, etc.)

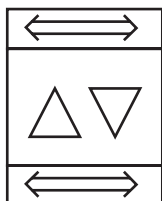
Le bus KNX relie les différents capteurs (donneurs d'ordre : interrupteurs, poussoirs, détecteurs, etc.), C'est en général un câble 2\*2\* 0,8 mm dont seuls 2 fils sont utilisés.

Le bus **KNX est** alimenté avec une tension continue de **29 V**. La plupart des composants soutirent directement au bus l'énergie nécessaire à leur fonctionnement. La limite inférieure de la tension d'alimentation est de 21 V DC. Il ne faut jamais boucler (liaison entre deux lignes) des bus KNX. Les autres topologies (étoile, bus, arborescente) peuvent être utilisées et mélangées.

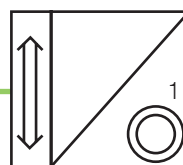
La consommation d'un composant **KNX** est normalisée à **10 mA**. Il existe des fabricants qui proposent du matériel qui ne consomme que 5 mA. Dans ce cas, lors de la planification, il est nécessaire de dimensionner l'alimentation comme si ces appareils consommaient 10 mA afin de ne pas avoir de surcharge de la source lors d'un éventuel échange de ce matériel par du matériel à consommation standard.

**13.3.2**  
**Les symboles**

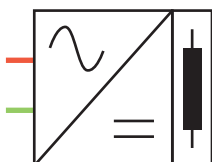
Pour désigner les différents éléments raccordés sur un bus KNX, on utilise des symboles dont voici quelques exemples :



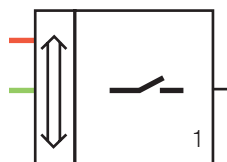
Coupleur de ligne / coupleur de zone  
Sert à augmenter le nombre de ligne.



Capteur analogique (dimer) ou tout-ou-rien (interrupteur) alimentation que par le bus KNX. dans cet exemple, commande par poussoir.



Alimentation de bus :  
alimentation par le réseau 230 V AC et transformation en 29 V DC. On peut mettre au maximum deux alimentations par ligne distances au minimum de 200 m l'une de l'autre.

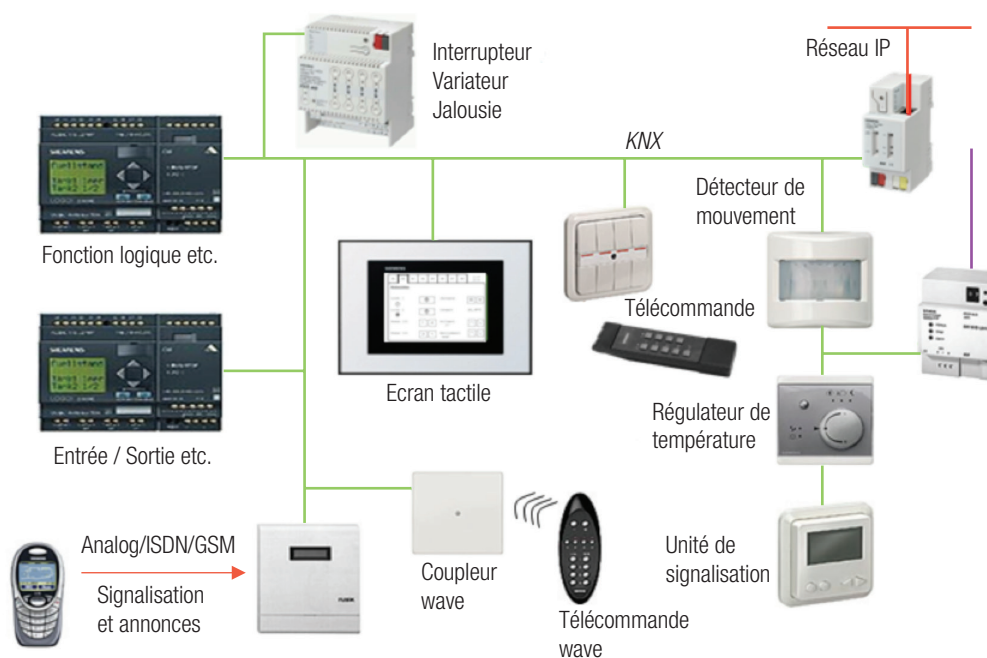


Acteur alimentation par le bus pour recevoir les ordres et par le réseau 230 V AC pour alimenter le récepteur souvent dessiner sur la droite.

On désigne souvent les acteurs et les capteurs sous la désignation PRT (participant au bus) lorsqu'il n'est pas utile de différencier leur fonction.

**13.4**  
**Architecture**

Le système KNX permet d'avoir des passerelles avec des API ou/et l'Internet. Dans ce cours, nous n'étudions que le système à bus 2 fils.



exemple d'architecture KNX avec passerelles

### 13.4.1 Lignes

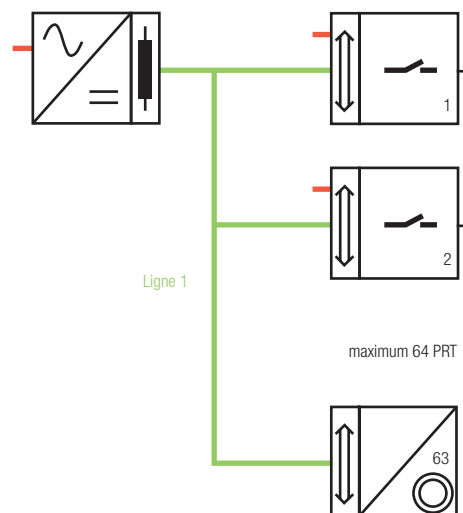
Une ligne est composée :

- d'une alimentation ;
- de 64 participants au maximum (numérotés de 0 à 63).

En principe, on choisit des alimentations 160, 320 ou 640 mA ce qui correspond à 32 ou 64 participants de 10 mA chacun.

Les participants peuvent être indifféremment des acteurs ou des capteurs.

La longueur maximale entre l'alimentation et le participant le plus éloigné est de 350 m.



#### Note

- *Il n'est pas rare de parler également de module à la place de PRT.*

### 13.4.2 Répéteurs

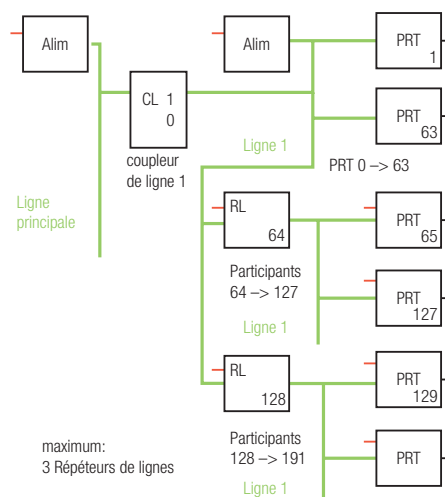
Il est techniquement possible d'ajouter des répéteurs (RL) afin d'augmenter le nombre de participants.

On peut ajouter jusqu'à un maximum de 3 répéteurs par ligne ce qui porte le nombre de participants par ligne à

$$64 + 3 * 64 = 256 \text{ participants}$$

Le coupleur de ligne et les RL comptent comme participants (donc 252 participants acteur ou capteurs au maximum par ligne)

Toutefois il est préférable de structurer une installation avec plusieurs lignes et non en installant des répéteurs de ligne RL.



### 13.4.3 Zones

Pour augmenter le nombre de participants, il faut créer plusieurs lignes.

On peut créer des zones de 15 lignes au maximum.

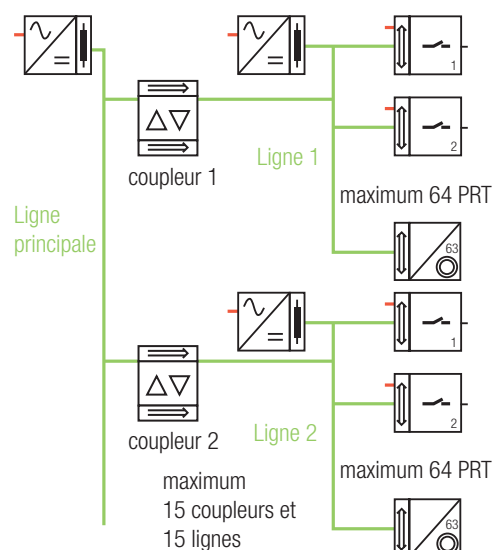
Le coupleur de ligne porte le numéro de module 0.

Le nombre maximum de participants (sans RL) est donc de

$$15 * (64-1) = 945 \text{ participants.}$$

Il faut une alimentation pour la ligne principale et une pour chaque ligne.

Il peut arriver que l'alimentation compte comme un participant.





### 13.4.4 Dorsale

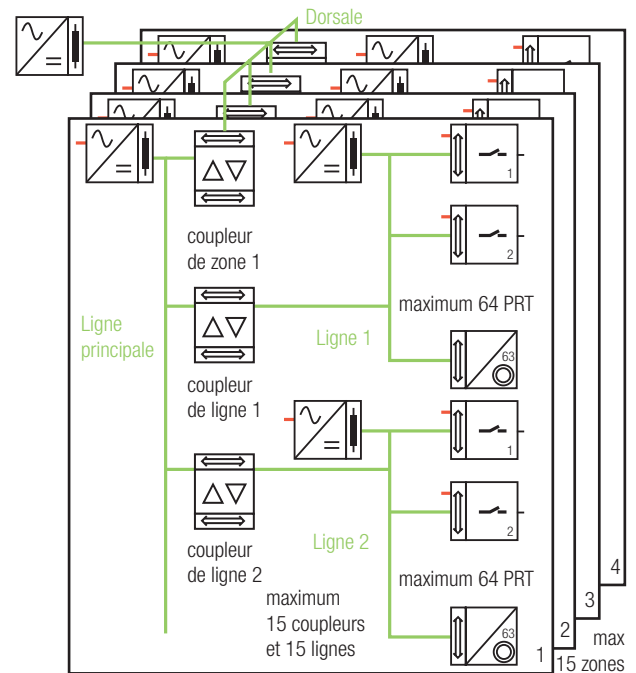
Pour des installations dépassant 945 participants (ou 3780 participants si l'on emploie des répéteurs de ligne), on peut faire une liaison entre les zones avec une ligne « dorsale ».

Cette liaison peut regrouper 15 zones au maximum ce qui porte le nombre maximum de participants à 56700.

#### Note

dans ce nombre sont inclus :

- les coupleurs de zone (CZ – 15),
- les coupleurs de ligne (CL – 225) et
- les répéteurs de ligne (RL – 675).



La distance maximale entre deux modules est de 700 m.

La longueur maximale du bus est de 1 km.

### 13.5 Adressage

Chaque élément connecté au bus **EIB/KNX** est indépendant des autres éléments. Il existe un adressage de **groupe** qui réunit acteurs et capteurs pour les scénarios et un adressage de **participants** qui est l'adresse physique des participants et chaque capteur est capable d'envoyer un message appelé **télégramme** qui sera « lu » par les autres participants, mais traité uniquement par l'acteur concerné.

Chaque module a une adresse dite « *adresse physique* ».

La structure de l'adresse physique comporte 3 numéros séparés par un point : **Z. L. P**

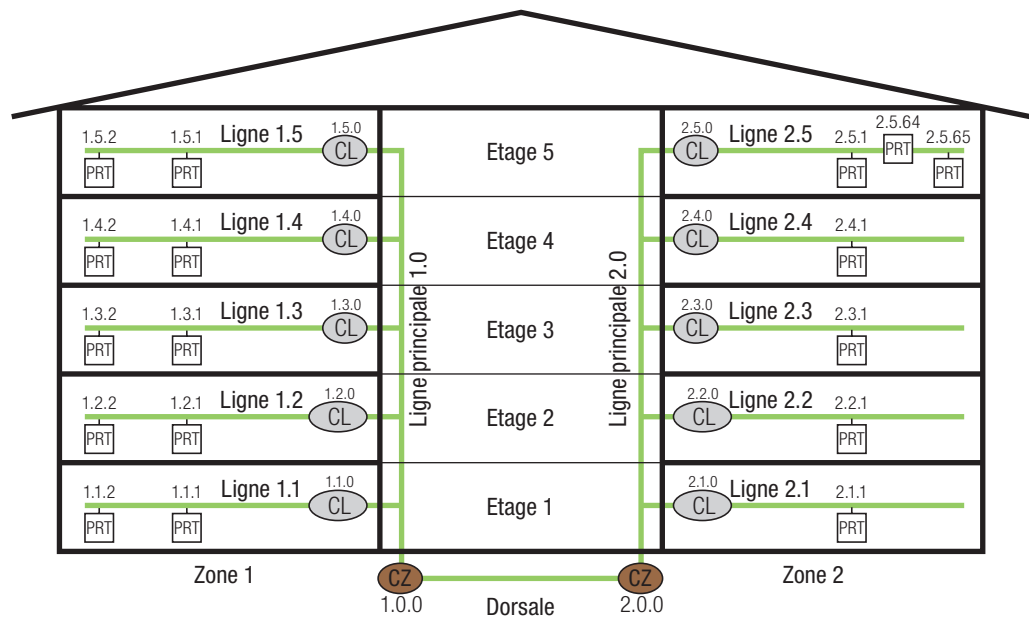
- Z – numéro de la zone, valeur de 1 à 15. Un coupleur de zone a obligatoirement une adresse Z.0.0.
- L – numéro de la ligne, valeur de 1 à 15. Un coupleur de ligne a obligatoirement une adresse Z.L.0.

#### Note

- *L=0 est attribué au coupleur de zone*
- P – numéro du participant, valeur de 1 à 255. Un participant a obligatoirement une adresse Z.L.P.

#### Note

- *P=0 est attribué au coupleur de ligne.*
- Les répéteurs de ligne ont une adresse physique du même type que les participants Z.L.P.



L'adressage physique se faisant en binaire, la structure de l'adresse binaire est :

ZZZZ. LLLL. PPPPPPPP

Une lettre représente un bit à 0 ou à 1. Il faut 4 bits pour numéroté de 0 à 15 et 8 bits pour numéroté de 0 à 255. Il faut donc 16 bits pour définir une adresse de module.

#### Exemple

l'adresse 03.07.011 se code en binaire ainsi : 0011.0111.00001011

### 13.5.1 Télégrammes

Lorsqu'un participant doit communiquer avec un autre participant ou avec un groupe de participants, il le fait en envoyant un télégramme sur le bus. Le télégramme n'est envoyé que s'il n'y a pas d'autres activités sur le bus à cet instant, sinon le télégramme est envoyé un peu plus tard. En cas d'envoi simultané de différents télégrammes par des participants différents, le droit d'émettre est donné en fonction d'une pré-programmation de niveaux de priorités des participants. Quand le télégramme est lu par le destinataire, ce dernier envoie immédiatement un accusé de réception. La durée totale du télégramme, y compris la quittance, varie entre 20 et 40 ms.

Un télégramme formé de quelques octets contient les informations suivantes :

contrôle	adresse source	adresse cible	routage	longueur	information max 16 * 8 bits	sécurité
8 bits	$2 * 8 = 16$	$2 * 8 + 1 = 17$	3	4	$n * 8$	8

Le débit binaire est de 9600 bits/s, c'est-à-dire  $104 \mu\text{s}$  par bit. La longueur du télégramme varie entre 8 et 23 mots. Un mot comprend 8 bits auxquels on ajoute 3 bits et une pause d'une durée de 2 bits, soit une durée de transmission de  $1,35 \mu\text{s}$  par mot de 13 bits (et non de 8 bits).

**13.6 Questionnaire**

1. De combien de fils utiles se compose le bus KNX?  
\_\_\_\_\_
2. Combien de circuits faut-il amener à un luminaire branché sur une installation KNX?  
\_\_\_\_\_
3. Quelle est la tension du bus KNX?  
\_\_\_\_\_
4. Sur une ligne j'ai 30 participants, comment choisir l'alimentation de bus  
\_\_\_\_\_
5. Pourquoi n'est-il pas judicieux de mettre une alimentation 320 mA sur une ligne composée de 64 participants à 5 mA?  
\_\_\_\_\_
6. Quelle est la topologie de bus qui n'est pas possible avec une installation KNX  
\_\_\_\_\_
7. Combien de modules peut-on mettre au maximum sur une ligne?  
\_\_\_\_\_
8. Combien d'alimentations faut-il prévoir pour une zone comprenant 5 lignes de 52 participants?  
\_\_\_\_\_
9. A quoi faut-il penser pour l'élaboration d'une ligne de plus de 350 m?  
\_\_\_\_\_
10. Qu'est-ce qu'une dorsale?  
\_\_\_\_\_
11. Quelle est l'adresse physique d'un coupleur de ligne (ligne 2) de la zone 6?  
\_\_\_\_\_
12. Quel module peut avoir une adresse physique 04.00.0000?  
\_\_\_\_\_
13. Quel est le code binaire du participant 4 sur la ligne 3 de la zone 1?  
\_\_\_\_\_
14. Pourquoi faut-il que le télégramme contienne l'adresse de l'expéditeur?  
\_\_\_\_\_
15. Quelle est la durée minimale de transmission d'un télégramme dont l'information de commande est composée de 5 octets?  
\_\_\_\_\_

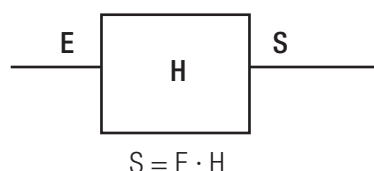


## Chapitre 14 SCHÉMAS BLOCS

### 14.1 Éléments des schémas blocs 14.1.1 Fonction de transfert

Les schémas blocs sont utilisés pour représenter des processus de transformation de l'énergie ou de l'information.

Le schéma se lit en principe de gauche à droite.



Exemple :  
E: puissance absorbée  
H: rendement  
S: puissance utile  
 $P_u = P_a \cdot \eta$

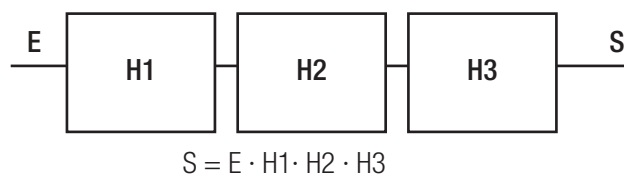
Ce schéma pourrait aussi représenter une installation d'une lampe en Sch.O. L'interrupteur étant représenté par la fonction de transfert H. Il n'y a aucun automatisme au contrôle de la transmission de l'ordre de d'allumage ou d'extinction ni à son exécution.

Dans le processus de transformation d'énergie, il est possible d'avoir plusieurs fonctions de transfert :

*Note*

H1 : fonction de transfert 1  
H2 : fonction de transfert 2  
H3 : fonction de transfert 3

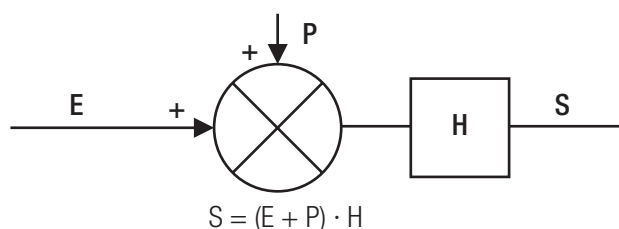
E: entrée  
S: sortie



Exemple :  
conduite d'eau, turbine, alternateur, etc. avec des rendements différents.

### 14.1.2 Sommeur

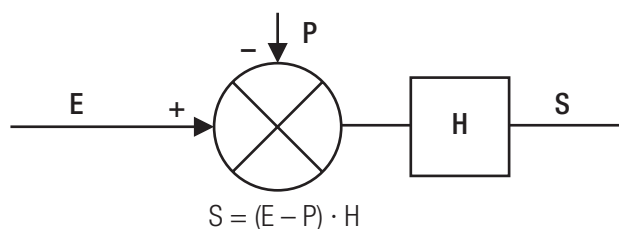
Il arrive également qu'au signal source un autre signal (perturbation) vienne s'ajouter.



Exemple :  
un signal TV est additionné d'un bruit de fond, puis l'ensemble est amplifié ou atténué (dans une prise par exemple).

### 14.1.3 Comparateur / différenciateur simple

Le signal qui au lieu de se sommer au signal d'entrée peut également



Exemple :  
Un luminaire a un rendement lumineux connu et a en plus un facteur de vieillissement à prendre en considération.

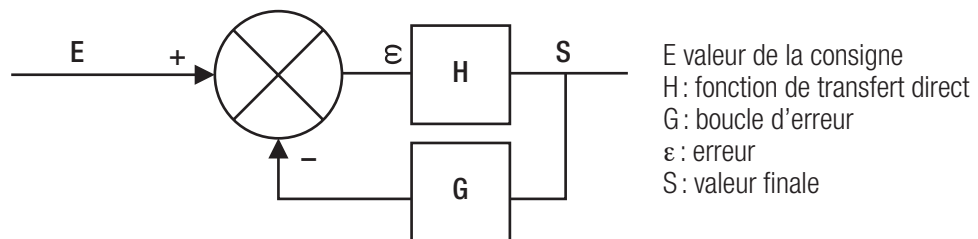
## 14.2 Systèmes bouclés

Il est assez fréquent qu'en pratique on ne se contente pas de donner une consigne sans en vérifier les conséquences, mais qu'on utilise les données de sortie afin de pouvoir réguler le signal d'entrée.

### Exemples

- Lorsqu'on chauffe une pièce, on installe un thermostat qui selon une valeur de consigne prédéterminée mettra automatiquement en ou hors service le radiateur selon l'écart entre la valeur cible de la consigne et la température effective dans la pièce.
- Lors de la pose d'une installation d'éclairage commandée par sonde crépusculaire, l'enclenchement de la source lumineuse se fait en fonction d'un niveau d'éclairement prédéfini. Un mauvais emplacement de la sonde peut générer un clignotement permanent la nuit si elle est trop influencée par la source lumineuse.

Les systèmes de régulation et / ou d'asservissement sont des systèmes bouclés.



### Exemple

Dans un réfrigérateur, E représente la température de réglage (+4°C).

H correspond à l'enclenchement ou pas du compresseur en fonction de la valeur de l'erreur. Lorsque l'erreur est positive, le compresseur est stoppé et, au contraire, si l'erreur ( $\pm$  la tolérance) est inférieure à 0, le compresseur fonctionne.

S est la température de sortie du système, dans cet exemple la température à l'intérieur du compartiment réfrigéré.

G sert à indiquer au comparateur la valeur actuelle de S.

## 14.3 Exercices

Nous désirons représenter un régulateur de vitesse pour voiture, indiquer quels sont les différents éléments qui sont représentés par :

E : \_\_\_\_\_

P : \_\_\_\_\_

S : \_\_\_\_\_

H : \_\_\_\_\_

Est-il nécessaire d'avoir une boucle d'erreur ? \_\_\_\_\_





**CATARO 086071**

**ISBN 978-2-88500-793-0**