

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université ABOU BAKR BELKAID Tlemcen

Faculté de Technologie

Département d'Architecture



Polycopié dédié au master 1 en Architecture

Matière :

**EQUIPEMENT 1 : ELECTRICITE ET ECLAIRAGE DES
BATIMENTS**

Code de la matière : AH743

Par

Dr. KHERBOUCHE Ep MAHDID Somia

Maitre de conférences classe B

2023

Le présent document représente un support pédagogique de la matière « Équipement 1 : Électricité et éclairage des bâtiments ». Ce dernier est destiné aux étudiants de mastère 1 Architecture et respecte dans son fond le programme établi par l'offre d'enseignement d'architecture. Dans son ensemble le polycopié vise à présenter les connaissances théoriques essentielles, les principes généraux et le matériel utilisé dans les techniques d'éclairage naturel et artificiel. Il comprendra cinq chapitres qui retraceront les principes ainsi que les démarches et les procédés à prendre en considération pour éclairer efficacement un bâtiment en l'occurrence ; le confort visuel, l'optimisation de l'éclairage naturel, la gestion de l'éclairage artificiel, les ambiances lumineuses et les énergies renouvelables.

Les objectifs pédagogiques sont les suivants :

- Avoir des connaissances sur les paramètres du confort visuel.
- Maîtriser les normes d'utilisation de l'éclairage naturel.
- Maîtriser les normes d'utilisation de l'éclairage artificiel et aux choix des équipements.
- Découvrir les méthodes pour minimiser la consommation énergétique.
- Comprendre les démarches d'une conception d'une ambiance lumineuse.
- Comprendre le fonctionnement des énergies renouvelables les plus utilisées dans la production électrique et comment elles fonctionnent.

Table des matières

Introduction générale.....	8
Chapitre 1 : Le confort visuel.....	9
Introduction	9
I.Définition du confort visuel.....	9
I.1.Les facteurs physiques	9
I.2. Facteurs physiologiques et psychologiques	10
II. Les paramètres du confort visuel.....	10
II.1. Le niveau d'éclairement de la tâche visuelle	12
II.2. Un rendu des couleurs correct	11
II.3. Le rapport de luminance dans le local et une répartition harmonieuse de la lumière dans l'espace.....	13
II.4. L'absence d'ombres gênantes.....	13
II.5. La mise en valeur du relief et du modelé des objets	14
II.6. Une vue vers l'extérieur et une teinte de lumière agréable.....	15
II.7. L'absence de l'éblouissement.....	15
Conclusion.....	16
Chapitre 2 : Éclairage naturel.....	17
Introduction	17
I. Lumière naturelle ; Sources et types.....	17
II.Stratégie de l'éclairage naturel	18
II.1. Capter.....	19
II.2. Transmettre (conduire)	22
II.3. Distribuer (Répartir)	25
II.4. Se protéger	30
II.5. Contrôler	31
Conclusion.....	32
Chapitre 3 : Éclairages artificiel.....	33
Introduction	33
I. Lumière artificielle, généralité.....	33
II.Choix des luminaires, Critères généraux :.....	34
III. Modes d'éclairage artificiel.....	36
III.1. L'éclairage direct.....	36
III.2. L'éclairage indirect.....	37
III.3. Éclairage mixte.....	38
IV. Schéma électrique : normes et symboles	39

V. Commande de gestion de l'éclairage artificiel	45
V.1. Gestion et commandes manuelles.....	45
V.2. Gestion en fonction d'un horaire (les minuteriers)	46
V.3. Gestion en fonction de la présence et mouvement	46
V.4. Gestion centralisée de l'éclairage	48
V.5. Gestion en fonction de l'apport en éclairage naturel	50
V.6. Zonage des commandes.....	51
VI. Optimiser l'éclairage artificiel	53
VII. Comment bien penser l'éclairage	54
VII.1. Éclairage intérieur (exemple d'une maison)	54
VII.2. Éclairage extérieur	67
Conclusion.....	72
Chapitre 4 : Ambiance lumineuse	73
Introduction	73
I. Qu'est-ce qu'une ambiance lumineuse.....	73
II. Dimensions intervenant dans la conception des ambiances lumineuses.....	76
III. Paramètres influençant l'ambiance lumineuse	77
IV. Types d'ambiance lumineuse.....	78
Conclusion.....	80
Chapitre 5 : Les énergies renouvelables.....	81
Introduction	81
I. Le photovoltaïque pour la production électrique	81
I.1. Principe du système photovoltaïque.....	81
I.2. Les composantes du système photovoltaïque	82
I.3. Types d'installations photovoltaïques.....	84
I.4. Paramètres influençant un système photovoltaïque	88
I.5. Architecture solaire ; conjuguer technologie et esthétique	89
I.6. Critère de choix d'une installation solaire	93
I.7. Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque	95
II. L'éolien pour la production électrique	95
I.1. Principe de l'éolien	96
I.2. Composante d'une éolienne	96
I.3. Types d'éolienne	97
I.4 Types d'installations éoliennes.	100
Conclusion.....	101
Bibliographie.....	60
Annexes.....	108

Tables des illustrations

Figure I.1. Niveaux d'éclairage dans les différents espaces et équipements.....	11
Figure I.2. Interprétation des étiquettes des lampes.....	12
Figure III.3. Ombre gênante.....	14
Figure II.1. Type de ciel et la luminance.....	18
Figure II.2. Stratégie d'éclairage naturel.....	19
Figure II.3. Différence entre des ouvertures latérales et zénithales.....	21
Figure II.4. Éclairage et écran naturel.....	22
Figure II.5. Rapport entre la hauteur de la fenêtre et la profondeur d'éclairage.....	23
Figure II.6. Position des ouvertures.....	23
Figure II.7. Formes des ouvertures.....	24
Figure II.8. Rapport entre la transmission de la lumière et le type du vitrage.....	25
Figure II.9. Distribution lumineuse indirecte.....	26
Figure II.10. Les conduits à lumière.....	27
Figure II.11. Les conduits de lumière.....	28
Figure II.12. Plafond anidolique.....	28
Figure II.13. Le light shelves.....	29
Figure II.14. Les stores réfléchissants.....	30
Figure II.15. Contrôle de lumière naturelle.....	32
Figure III.1. Caractéristiques types pour différentes sources lumineuses.....	35
Figure III.2. Éclairage direct.....	36
Figure III.3. Éclairage indirect.....	37
Figure III.4. Éclairage mixte.....	38
Figure III.5. Schéma unifilaire et multifilaire.....	39
Figure III.6. Exemple d'utilisation de symboles dans une installation électrique domestique.....	43
Figure III.7. Exemple d'utilisation de symboles dans une installation électrique non domestique.....	44
Figure III.8. Gestion par interrupteurs.....	45
Figure III.9. Gestion par boutons poussoirs.....	46
Figure III.10. Gestion par les minuteries.....	46
Figure III.11. Gestion par détecteurs de présence.....	47
Figure III.12. Cas d'un store fermé avec détecteur de présence.....	47
Figure III.13. Technologies des détecteurs de présence.....	48
Figure III.14. Gestion classique.....	48
Figure III.15. Gestion par bus de communication.....	49
Figure III.16. Protocol DALI.....	49
Figure III.17. Le protocole KNX.....	50

Figure III.18. Gestion en fonction de l'apport en éclairage naturel.....	51
Figure III.19. Zonage classique.....	52
Figure III.20. Zonage par adressage.....	53
Figure III.21. Emplacement des luminaires dans une cuisine.....	55
Figure III.22. Quelques recommandations pour un bon éclairage en cuisine.....	56
Figure III.23. Exemple d'une installation électrique dans une cuisine.....	56
Figure III.24. Schéma électrique d'une cuisine.....	57
Figure III.25. Éclairage artificiel dans une salle à manger.....	58
Figure III.26. Lumières en cuisine : hauteurs et tailles.....	59
Figure III.27. Éclairage artificiel dans le séjour.....	60
Figure III.28. Exemple d'une installation électrique d'un séjour.....	61
Figure III.29. Schéma électrique d'un séjour.....	61
Figure III.30. Normes d'Éclairage artificiel dans la salle de bain.....	62
Figure III.31. Normes d'Éclairage artificiel dans la salle de bain.....	63
Figure III.32. Éclairage artificiel dans une chambre.....	63
Figure III.33. Schéma électrique d'un séjour.....	64
Figure III.34. Hauteurs des suspensions.....	64
Figure III.35. Points lumineux pour les escaliers.....	65
Figure III.36. Recommandations pour un bon éclairage dans le hall d'entrée et les.....	66
Figure III.37. Lumière pour la mise en valeur de l'architecture.....	68
Figure III.38. Mise en lumière pour structurer.....	69
Figure III.39. Mise en lumière pour générer l'attention.....	69
Figure III.40. Mise en lumière pour modifier l'architecture.....	70
Figure III.41. Choix de type de lampe dans l'espace extérieur.....	72
Figure IV.1. Ambiance conçue et ambiance vécue.....	75
Figures IV.2. Interaction entre les composants de l'ambiance lumineuse.....	75
Figure IV.3. Dimensions de conception d'une ambiance lumineuse.....	76
Figures IV.4. Rapport de l'espace avec la couleur.....	78
Figure IV.5. Filtrage en éclairage naturel.....	79
Figure IV.6. Découpage en éclairage naturel.....	80
Figure V.1. Éléments d'un système solaire photovoltaïque.....	82
Figure V.2. Module photovoltaïque.....	83
Figure V.3. Éléments d'un système solaire photovoltaïque.....	84
Figure V.4. Installations sur site isolé.....	85
Figure V.5 : Installations sur site isolé autonome et hybride.....	85
Figure V.6. Installation avec injection totale.....	86
Figure V.7. Installation avec injection partielle.....	86

Figure V.8. Installation à consommation hybride (avec stockage et sans stockage).....	87
Figure V.9. Orientation des modules photovoltaïques.....	88
Figure V.10: Inclinaison des modules photovoltaïques.....	89
Figure V.11. Vitrage photovoltaïque coloré.....	90
Figure V.12 : Tuiles solaires.....	91
Figure V.13. Éléments d'un système solaire photovoltaïque.....	91
Figure V.14. Balustrade en photovoltaïque.....	92
Figure V.15. Volets solaires.....	92
Figure V.16. Carport.....	93
Figure V.17. Analyse hiérarchique d'une conception solaire.....	94
Figure V.18. Principe de l'éolienne.....	96
Figure V.19. Éléments d'un système solaire photovoltaïque.....	97
Figure V.20. Éoliennes à axe vertical à gauche et à axe horizontal à droite.....	98
Figure V.21. Classification des éoliennes selon leur taille.....	99
Figure V.22. Classification des éoliennes selon leur nombre de pales.....	100
Figure V.23. Installation éolienne à injection partielle.....	101

Introduction générale

L'existence de l'homme est intimement liée à la lumière. Elle constitue un élément essentiel, générateur de vie sur terre. Elle représente une partie indéniable de notre vécu quotidien et nous influence du point de vue physiologique et psychologique.

La lumière est en effet un élément clé. Une bonne lumière crée un environnement visuel qui permet aux personnes de voir, d'aller et venir en sécurité et de réaliser des tâches avec efficacité et précision, sans fatigue. C'est pourquoi les spécialistes du bâtiment ont pour responsabilité de respecter quelques paramètres car la réalisation d'un éclairage performant nécessite de s'adapter au contexte local tout en respectant la réglementation, les normes et les recommandations en vigueur ; et de définir avec exactitude les besoins en éclairage et les exigences visuelles.

De plus, l'histoire de l'architecture témoigne de l'importance de la lumière naturelle, un matériau que l'homme a su modeler de diverses manières et pour des objectifs variés en lui attribuant une place, un rôle ou une symbolique particulière, et cela se répercute dans la conception des bâtiments. C'est le concept que défendait également Le Corbusier en 1923 dans son ouvrage "Vers une architecture" en considérant la lumière comme matière à part entière, d'ailleurs, il a défini l'architecture comme le "le jeu savant correct et magnifique des volumes assemblés sous la lumière". La valorisation de la lumière naturelle dans l'architecture reste cependant étroitement liée aux capacités techniques qui ne cesse d'évoluer.

La lumière naturelle se positionne donc par rapport à l'architecture à la fois comme un outil de conception mais aussi comme un facteur technique. C'est l'un des matériaux de base de toute conception architecturale. Cependant, l'éclairage artificiel fait également partie intégrante de l'architecture et peut exprimer le meilleur de lui-même en prolongeant l'activité quotidienne et en créant des ambiances nocturnes incontournables.

Cette notion de combinaison entre le lumen (la lumière divine) et la lux (la lumière terrestre) s'avère essentielle en architecture. Ce polycopié est en effet, un résultat de lectures et de documentations qui serviront à initier l'étudiant en architecture sur les bases de conception d'éclairage naturel et artificiel afin d'arriver à un projet efficace et performant sur les différents plans : architectural, technique et énergétique.

Chapitre 1 : Le confort visuel

Introduction :

L'obtention d'un environnement visuel confortable favorise le bien-être des occupants. Par contre, un éclairage trop faible ou trop fort, mal réparti dans l'espace provoque une fatigue, voire même des troubles visuels, accompagnés d'une sensation d'inconfort et d'une performance visuelle réduite.

Dans ce chapitre, il sera question de mettre en lumière les paramètres du confort visuel qui doivent être pris en considération dans la conception des bâtiments.

I. Définition du confort visuel :

L'environnement visuel nous procure une sensation de confort quand nous pouvons voir les objets nettement et sans fatigue dans une ambiance colorée agréable.

Le confort visuel est une impression subjective liée à ¹:

- La quantité de la lumière
- La distribution de la lumière
- La qualité de la lumière

Le confort visuel dépend de la combinaison de facteurs physiques et de facteurs physiologiques et psychologiques

I.1. Les facteurs physiques² :

- Éclairement : est le rapport du flux lumineux reçu à l'aire de cette surface. Son unité est le lux, équivalent à 1 lm/m².
- Le flux lumineux d'une source est l'évaluation de la quantité de lumière rayonnée dans tout l'espace par cette source. Il s'exprime en lumen (lm).
- Luminance : est le rapport entre l'intensité lumineuse émise dans une direction et la surface apparente de la source lumineuse dans la direction considérée. La luminance s'exprime en candélas par mètre carré (cd/m²).

¹ Bodart M., De Herde A., Guide d'aide à l'utilisation de l'éclairage artificiel en complément de l'éclairage naturel, pour un meilleur confort visuel et de substantielles économies d'énergie, Ministère de la Région Wallonne, 1999

² Reiter S., De Herde A., L'éclairage naturel des bâtiments, presse universitaire de Louvain, 2003

- L'intensité lumineuse est le flux lumineux émis par unité d'angle solide dans une direction donnée. Elle se mesure en candéla, équivalent à 1 lm/sr.

- Contraste : est l'aptitude à distinguer des différences de luminance.

- Éblouissement : résulte de conditions de vision dans lesquelles l'individu est moins apte à percevoir les objets, suite à des luminances ou à des contrastes de luminance excessifs dans l'espace et dans le temps. Il peut être direct ou indirect.

- Spectre lumineux : Ce qu'on appelle lumière blanche ou solaire est la lumière usuelle, celle du jour. Cette lumière (blanche) se décompose en plusieurs ondes qui ont différentes fréquences. Parmi toutes ces ondes, seule celles situées entre 380 à 780 nm (nm : nanomètre) sont visibles par l'œil humain. Elles forment ainsi le spectre de la lumière.

I.2. Facteurs physiologiques et psychologiques :

Le confort visuel relève également de facteurs physiologiques et psychologiques liés à l'individu :

- Facteurs physiologiques : âge, sexe, taille, Activité physique, état de santé pathologie de la vision...

- Facteurs psychologiques : stimuli visuel, expériences précédentes, le climat, perception de la profondeur et de la couleur, la culture...

II. Les paramètres du confort visuel :

La réalisation d'un éclairage performant nécessite de s'adapter au contexte local tout en respectant la réglementation, les normes et les recommandations en vigueur ; Et de définir avec exactitude les besoins en éclairage et les exigences visuelles en essayant de répondre aux quatre questions suivantes :

- Pourquoi veut-on éclairer ?
- Quelle est l'activité exercée ?
- Pour qui éclaire-t-on ?
- Quelle influence l'environnement exerce-t-il sur le lieu à éclairer ?

Les paramètres du confort visuel pour lesquels l'architecte joue un rôle prépondérant sont les suivants³ :

II.1. Le niveau d'éclairement de la tâche visuelle :

Pour être capable de se déplacer et d'effectuer ses activités en sécurité, aisément et efficacement le travailleur doit être informé sur sa tâche et son environnement.

³Université Catholique de Louvain, l'éclairage naturel des bâtiments, Guide : le confort visuel, https://sites.uclouvain.be/eclairage-naturel/guide_confort.htm

La perception des objets et des événements ainsi que l'exécution de différentes tâches s'effectuent sous le contrôle de la vue. De plus, la vision dépend de la lumière car c'est cette dernière qui rend les objets visibles⁴. De ce fait, il existe une relation étroite entre la tâche visuelle, la vue et la lumière et il est nécessaire d'avoir un éclairage approprié à chaque tâche visuelle qui désigne de façon conventionnelle, les objets et les détails qui doivent être vus pour exercer une certaine activité.

Une bonne visibilité de la tâche visuelle et de son environnement est fortement influencée par le niveau d'éclairage qui est défini comme la quantité de lumière (flux lumineux) recommandée pour une tâche visuelle déterminée (exprimé en lux -lx-).

Plus les détails seront petits et les différences minimales, plus les exigences en termes de qualité d'éclairage seront élevées, notamment en termes d'éclairage.

Avant d'aménager un éclairage local, il est donc nécessaire de définir la nature exacte de la tâche visuelle et de déterminer ses caractéristiques de transmission et de réflexion de la lumière.

Le confort visuel est assuré non seulement par un éclairage juste et suffisant mais aussi par :

- Une bonne qualité de la lumière émise par les sources.
- Une uniformité de l'éclairage.
- Un équilibre des luminances pour éviter les éblouissements.

Habitation :	
Débaras, garages, caves	: 50-100 Lux (zone de travail : 300-500 Lux)
Halls, couloirs, escaliers	: 100 Lux minimum
Chambres	: 100-200 Lux (zone de lecture : 300 Lux)
Salons	: 100-200 Lux (zone de repos 50 Lux, zone de lecture : 300 Lux)
Salles à manger	: 100-200 Lux (table : 200-300 Lux)
Salles de bains, WC	: 200 Lux (miroir et plan de travail : 300-500 Lux)
Cuisines	: 200-300 Lux (plan de travail : 300-500 Lux)
Bureaux	: 300-500 Lux (zone d'inspection et de précision : 400-800 Lux)
Travail :	
Zones de circulation extérieures	: 30 Lux
Zones d'accès	: 100 Lux
Halls, couloirs, escaliers	: 100-150 Lux
Entrepôts	: 100-150 Lux (stockage de petites pièces : 250 Lux)
Bureaux	: 300-500 Lux (zone d'inspection et de précision : 400-800 Lux)
Garages, ateliers	: 300-500 Lux (zone d'inspection et de précision : 400-800 Lux)
Magasins de vente	: 300 Lux (caisse : 500 Lux)

Figure I.1. Niveaux d'éclairage dans les différents espaces et équipements

Source : Recommandations de l'Association Française de l'Éclairage [A.F.E.], et de PROMOTELEC

⁴Floru R., Éclairage et vision, Notes scientifiques et techniques de l'INRS NS 149, Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS). 1996, <https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-01420151/document>

II.2. Un rendu des couleurs correct :

Toute source lumineuse, qu'elle soit naturelle ou artificielle, présente un spectre lumineux qui lui est particulier. La lumière naturelle provenant du rayonnement du soleil et du ciel présente un spectre visible de forme continue. La couleur perçue est intimement dépendante du spectre lumineux émis. Ces dernières peuvent contribuer dans une large mesure à modifier la dimension apparente des surfaces et des volumes.

Le rendu de couleurs est évalué par un indice appelé l'indice de rendu de couleurs (IRC) qui est la capacité d'une lampe de nous faire distinguer toutes les couleurs des objets qu'elle éclaire.

La valeur maximale de l'IRC est égale à 100. Elle correspond à la lumière du jour. Un indice plus grand que 80 est considéré comme très bon.

En jouant sur les températures de couleur, vous pouvez choisir l'éclairage le plus adapté à votre local et vos besoins.

On n'éclaire pas une chambre ou un salon comme un magasin, un entrepôt ou un jardin

- Plus le nombre de kelvins est élevé, plus la lumière est blanche et donne une impression de froid.
- Plus le nombre de kelvins est bas, plus la lumière est chaleureuse.

En pratique et d'une manière générale sont préférées :

- Les teintes chaudes (3 000 K) pour l'éclairage des locaux de séjour, endroits de détente, ...
- Les teintes intermédiaires (4 000 K) sont recommandées dans la plupart des travaux techniques.
- Les teintes froides (5 000 K) pour des éclairagements élevés là où les performances visuelles sont importantes.

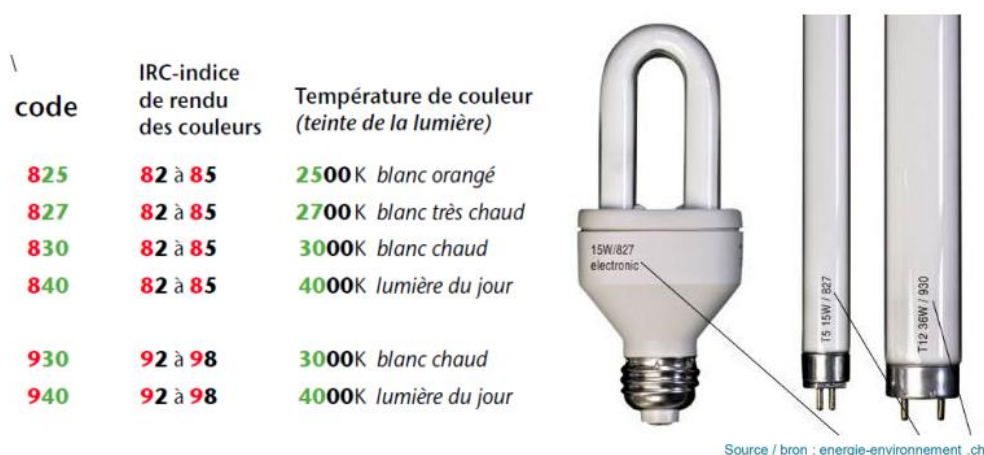


Figure I.2. Interprétation des étiquettes des lampes
Source : GREGOIRE. Florence⁵

⁵ Grégoire. F, Comment éclairer de manière efficace ? , Formation bâtiment durable ; Éclairage : conception et régulation, 2022, <https://environnement.brussels/media/7336/download?inline>

II.3. Le rapport de luminance dans le local et une répartition harmonieuse de la lumière dans l'espace :

Une bonne répartition de la lumière dans un espace permet l'affectation des tâches de manière confortable et sans fatigue visuelle.

La distribution de la lumière dans un espace dépend de la répartition des sources lumineuses (naturelles ou artificielles) et de la réflexion des parois.

Il faut une certaine uniformité de luminance, d'une part, entre le champ visuel en position de travail (le plan de travail) et au repos (les murs) et d'autre part, entre les différentes surfaces de référence (éclairage de la zone de travail et de la zone voisine).

Pour permettre à la lumière naturelle de se distribuer le mieux dans le local, il est essentiel de :

- Placer le mobilier de telle sorte qu'il ne fasse pas écran et de disposer les zones d'activité judicieusement.
- Situer préférentiellement les plans de travail près des ouvertures où la lumière naturelle est bien reçue.

Une répartition harmonieuse de la lumière naturelle dans un bâtiment peut être favorisée par différentes approches basées sur ⁶:

- Le type de distribution lumineuse (direct, indirecte),
- La répartition des ouvertures,
- L'agencement des parois intérieures,
- Le matériau des surfaces du local,
- Les zones de distribution lumineuse,
- Les systèmes de distribution lumineuse.

II.4. L'absence d'ombres gênantes :

Lorsqu'un objet opaque est éclairé par une source de lumière, certaines zones situées derrière l'objet, ne reçoivent pas de lumière et constituent l'ombre de l'objet.

Il existe deux catégories d'ombres :

- Ombres propres : elles appartiennent à l'objet et lui donnent son relief.
- Ombres portées : elles sont projetées par l'objet sur son support et les surfaces environnantes (ex : mur).

Les ombres qui sont créées par la présence d'un élément entre la tâche visuelle et la source lumineuse sont mauvaises pour la vision puisqu'elles diminuent fortement les contrastes.

⁶ Grégoire, F, Comment éclairer de manière efficace ? , Formation bâtiment durable ; Éclairage : conception et régulation, 2022, <https://environnement.brussels/media/7336/download?inline>

Pour qu'un travail ne soit pas perturbé par des ombres parasites. Il faut éviter les situations suivantes⁷ :

- Lorsque l'éclairage provient du côté droit pour les droitiers et du côté gauche pour les gauchers
- Lorsque l'éclairage est dirigé dans le dos des occupants
- Un éclairage trop focalisé (directionnel) qui risque de masquer certaines zones.
- Un éclairage purement indirect (diffus) qui supprime totalement les ombres et rend l'environnement trop uniforme.

Une pénétration latérale de la lumière est considérée comme la meilleure puisqu'elle satisfait généralement la perception tridimensionnelle du relief des objets et de leur couleur, grâce à sa "directionnalité" et à sa composition spectrale.

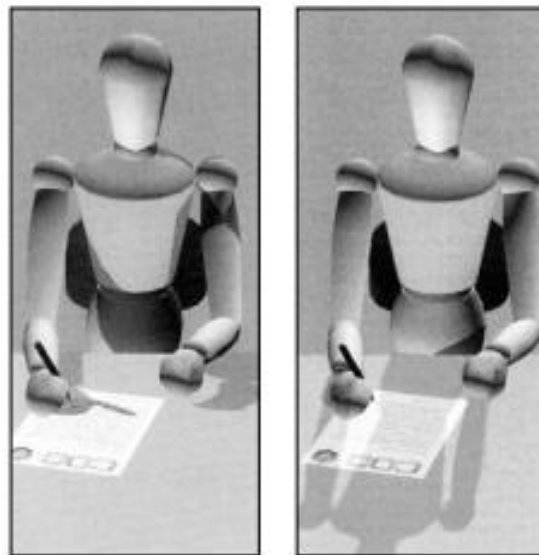


Figure III.3. Ombre gênante
Source : Energie plus

II.5. La mise en valeur du relief et du modelé des objets :

Les ombres ne sont pas toujours indésirables, puisqu'elles sont là pour donner du relief aux objets.

Un objet ou une image sans ombres serait plat (e) et sans intérêt. La répartition des zones d'obscurité et de lumière informe l'œil sur la tridimensionnalité de ce qu'il regarde. C'est pourquoi il est important de bien diriger la lumière pour mettre en valeur les reliefs et les volumes.

⁷ Energie plus, Évaluer la présence d'ombres gênantes,
<https://energieplus-lesite.be/evaluer/confort-visuel2/evaluer-la-presence-d-ombres-genantes/>

II.6. Une vue vers l'extérieur et une teinte de lumière agréable :

Dans une société où nous passons plus de 90% de notre temps à l'intérieur des bâtiments et certainement davantage depuis l'arrivée de la Covid-19, de nombreuses études scientifiques ont montré l'importance des vues vers l'extérieur pour le bien-être et la santé des personnes. En particulier, des vues vers la nature ont un effet bénéfique sur nos performances cognitives et notre état de stress⁸.

Cet aspect est devenu une composante majeure du confort visuel.

- Dans un espace architectural, la fenêtre est un moyen de communication, un lien visuel qui permet à l'homme de rester en relation permanente avec le monde extérieur.
- La variabilité de la lumière naturelle permet d'établir une harmonie avec le monde extérieur et crée une ambiance intérieure plus chaleureuse.
- Les baies vitrées, par lesquelles la lumière pénètre, offrent le double avantage d'une communication visuelle vers l'extérieur et d'une vue au loin nécessaire au repos de l'œil après une vision rapprochée. Elles jouent aussi un rôle esthétique indéniable car elles font participer les paysages extérieurs à l'ambiance visuelle d'un espace déterminé.

Plusieurs éléments rentrent en jeu pour qu'une ouverture puisse offrir un accès suffisant et satisfaisant à des vues extérieurs :

- La taille et le placement des fenêtres, et notamment par rapport à la position des occupants dans la pièce
- Le type de vitrages : Certaines caractéristiques telles que le degré d'opacité, la couleur, la présence de motifs ou de revêtements particuliers peuvent éventuellement altérer la vision qu'auront les occupants de l'extérieur
- La présence d'éléments se rajoutant à la façade modifiant également la vision vers l'extérieur tels que des mailles ou grillages métalliques, tôles perforées ou des stores
- L'environnement à proximité du bâtiment et visible depuis les fenêtres
- La forme et la hauteur du bâtiment qui vont aussi conditionner le contenu des vues par exemple la vision du ciel et du paysage lointain.

II.7. L'absence de l'éblouissement :

L'éblouissement résulte de conditions de vision dans lesquelles l'individu est moins apte à percevoir les objets, suite à des luminances ou à des contrastes de luminance excessifs dans l'espace et dans le temps dans le champ de vision⁹.

⁸ Sok-Paupardin E, Comment évaluer les vues vers l'extérieur dans les bâtiments ? 2020, <https://www.sageglass.com/fr/industry-insights/comment-evaluer-vues-lexterieur-batiments>

⁹ Université Catholique de Louvain, L'éclairage naturel des bâtiments, Guide : le confort visuel, <https://sites.uclouvain.be/eclairage>

En éclairage naturel, les causes de l'éblouissement sont :

- Une vue directe du soleil,
- Une luminance excessive du ciel vu par les fenêtres,
- Des parois réfléchissant le rayonnement solaire et provoquant des contrastes trop élevés par rapport aux surfaces voisines.

En éclairage artificiel, les causes de l'éblouissement sont :

- Une vue directe d'une lampe
- Une réflexion d'une lampe sur les parois polies des luminaires, sur les surfaces du local ou sur des objets.

Il existe deux types d'éblouissement :

L'éblouissement direct : produit par un objet lumineux (lampe, fenêtre, ...) situé dans la même direction que l'objet regardé ou dans une direction voisine. Les solutions proposées sont les suivantes :

- Changer de position par conséquent le champ de vision (position de la tache visuelle)
- Cachez la source lumineuse en cause derrière un panneau ou un rideau clair.
- Sortez la lampe du champ visuel en la changeant de place ou en modifiant l'orientation du poste de travail.

L'éblouissement indirect : produit par des réflexions d'objets lumineux sur des surfaces brillantes (anciens écrans d'ordinateur, plan de travail, tableau ...). Les solutions proposées sont les suivantes :

- Supprimez du champ de vision tout objet réfléchissant : verre (cadres...), plastique (fardes transparentes...), objets brillants (déco...).
- Préférez des tables et objets mats.
- Repérez les lampes ou luminaires qui causent ces reflets.

Conclusion :

Il est très difficile de quantifier les valeurs idéales que les paramètres du confort visuel devraient atteindre. Il n'existe pas de solution universelle au problème du confort visuel car celui-ci sera influencé par le type de tâche, la configuration du lieu et les différences individuelles et culturelles.

En effet, de nos jours, le confort visuel se présente comme cible pour plusieurs labels environnementaux tel que la démarche HQE. Le référentiel HQE a choisi la cible du confort pour la création d'un environnement intérieur sain sur le plan visuel sous une forme plus qualitative que quantitative. L'accent est mis sur l'accès à la lumière naturelle avec la recherche de l'équilibre des luminances et la limitation de l'éblouissement.

Chapitre 2 : Éclairage naturel

Introduction :

L'histoire de l'architecture témoigne sur l'intérêt pour la lumière naturelle. Cette composante incontournable de l'architecture nécessite une attention particulière pour la rendre plus efficace, et ce, à travers des stratégies qui favorisent sa meilleure utilisation possible.

I. Lumière naturelle ; Sources et types :

La source de lumière naturelle qui éclaire notre planète est le soleil. Toutefois, la voûte céleste, qui reçoit cette lumière, agit comme un filtre/diffuseur pour une part importante de ce flux direct du soleil. Elle se comporte alors comme un large luminaire de lumière naturelle¹⁰.

En éclairage naturel, on considère deux catégories de sources :

- Source principale (rayonnement direct) :

Une partie du flux lumineux du soleil nous parviendra directement, ce rayonnement constitue **le flux direct** de la lumière naturelle. Cette composante est nulle lorsque le soleil est caché par des nuages ou par un obstacle (bâtiment, masque lointain). Le rayonnement direct est souvent une source d'éblouissement et parfois de surchauffe du bâtiment.

- Sources secondaires (rayonnement indirect) :

Générées par les phénomènes optiques de réflexion, de diffusion et d'absorption du rayonnement solaire. Elle suscite peu d'éblouissement, ne provoque pas de surchauffe mais elle peut être insuffisante dans de nombreux cas. En outre, elle crée peu d'ombres et de très faibles contrastes. Une lumière diffuse est donc idéale pour des locaux de travail où il est important d'avoir un éclairage constant, sans source d'éblouissement.

Le rayonnement indirect se distingue en deux types :

Un flux diffus : est assuré par la voûte céleste, les nuages...

Un flux réfléchi : dépendra de l'environnement terrestre (sol, façades, végétation, plan d'eau, etc.) et de son taux de réflexion. Ce dernier est appelé l'albédo qui est défini comme le rapport entre la quantité de d'énergie solaire réfléchie et la quantité d'énergie reçue.

¹⁰ICEB, L'éclairage naturel, Les guides Bio-Tech, 2014, https://www.aret-idf.fr/fileadmin/DataStorageKit/AREC/Etudes/pdf/guide_bio_tech_eclairage_naturel.pdf

En effet, ces trois éléments (le soleil, la voûte céleste et l'environnement terrestre) composent un tout que nous appelons la " lumière naturelle ".

$$\text{Rayonnement global} = \text{Rayonnement direct} + \text{rayonnement diffus} + \text{albédo}$$

Cependant, les luminances, les éclairements et la répartition spectrale varient dans la journée en fonction de:

- La position du soleil (la course solaire) : La position du soleil est caractérisée par les angles et paramètres suivants : la latitude, la hauteur solaire, l'angle d'inclinaison de la terre et l'azimut.
- La couverture nuageuse (type du ciel) : c'est une donnée aléatoire. Un type de ciel est caractérisé par la répartition des luminances sur la voûte céleste en fonction de la position du soleil et de la répartition des nuages.

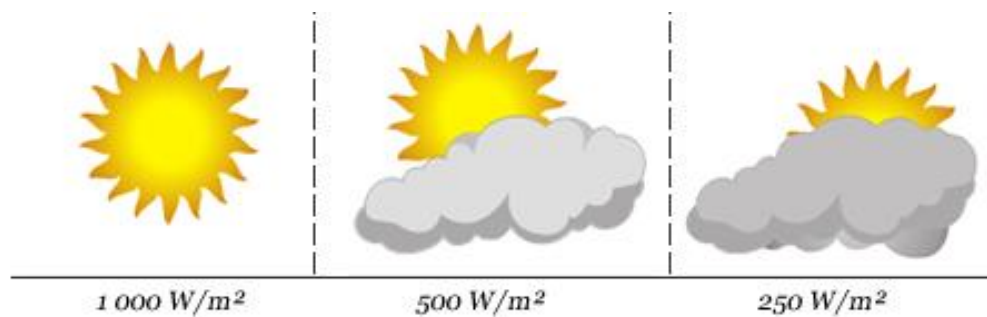


Figure II.1. Type de ciel et la luminance
Source : Energie plus ¹¹

II. Stratégie de l'éclairage naturel :

La stratégie de l'éclairage naturel est l'étude de la relation entre la lumière naturelle et le bâtiment qui vise à favoriser la meilleure utilisation possible de la lumière naturelle selon cinq concepts qui sont montrés sur la figure ci-dessous¹².

¹¹ Energie plus, Ensoleillement, <https://energieplus-lesite.be/theories/climat8/ensoleillement-d8/>

¹² Reiter S., De Herde A., L'éclairage naturel des bâtiments, presse universitaire de Louvain, 2003

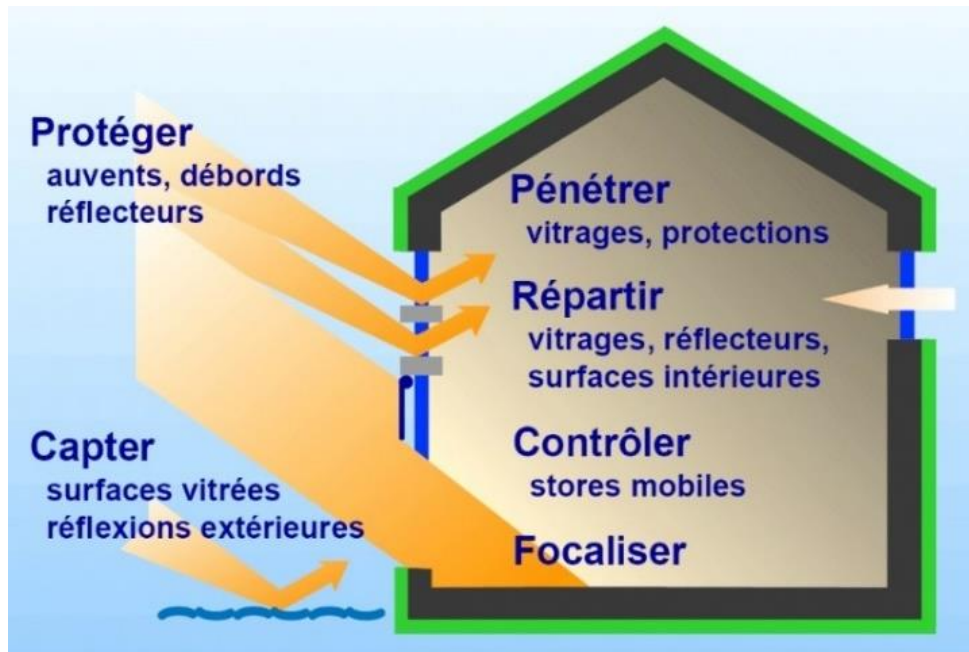


Figure II.2. Stratégie d'éclairage naturel
Source : Cherier M.K.¹³

II.1. Capter :

Capter la lumière du jour, c'est la recueillir pour éclairer naturellement un bâtiment. C'est la résultante de trois composantes:

- La lumière direct ou diffuse provenant du ciel ou du soleil
- La lumière réfléchiée sur les surface extérieures
- La lumière réfléchiée à l'intérieur de la pièce

Capter nécessite de tenir en compte de¹⁴:

- L'influence du type du ciel
- L'influence du moment de l'année et de l'heure
- L'influence de l'orientation et l'inclinaison de l'ouverture
- L'influence de l'environnement physique du bâtiment

¹³Cherier M.K., L'Utilisation passive de l'énergie solaire dans les habitats de Ghardaïa, thèse de doctorat, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 2018, https://www.researchgate.net/publication/327562315_L%27utilisation_passive_de_l%27energie_Solaire_dans_les_habitats_de_Ghardaia

¹⁴ Savard S., L'importance de la lumière naturelle en architecture, idinterdesign ,2017, <https://idinterdesign.ca/limportance-de-la-lumiere-naturelle-en-architecture/>

a. L'influence du type du ciel :

La lumière naturelle traduit les fluctuations de l'état du ciel. Les stratégies à mettre en place pour accroître la luminosité intérieure d'un édifice doivent tenir compte de cette différence.

le rayonnement solaire direct est souvent une source d'éblouissement, d'ombre gênante et parfois de surchauffe du bâtiment. La lumière diffuse du ciel est disponible dans toutes les directions. Elle suscite peu d'éblouissement et ne provoque pas de surchauffe mais elle peut être considérée comme insuffisante dans de nombreux cas.

b. L'influence du moment de l'année et de l'heure :

La répartition lumineuse varie fortement d'une heure à l'autre et d'un point à l'autre de la pièce, cette lumière augmente jusqu'à la mi-journée, puis diminue.

En hiver, le soleil bas (environ 17°) pénètre profondément dans le bâtiment,

En été, la hauteur solaire est plus élevée (60°) et la pénétration du soleil est donc moins profonde.

c. L'influence de l'orientation et l'inclinaison de l'ouverture :

Pour orienter les ouverture, il y a quelques règles de bases à respecter pour bénéficier de :

- Un soutien énergétique naturelle
- Un confort visuel
- Une cohérence entre le rayonnement solaire et la fonction des pièces, selon les moments de la journée.

L'organisation spatiale d'un bâtiment devrait toujours être pensée en fonction du moment d'occupation des locaux, de l'activité qui s'y déroule et de la course du soleil. En général, l'organisation est faite comme suit :

- Locaux occupés le matin orientés Est
- Locaux occupés au courant de la journée au sud
- Locaux occupés la soirée à l'ouest,
- Locaux de service et les pièces de travail nécessitant une lumière constante et homogène sont de préférence placés au nord.

Les ouvertures des pièces de vie doivent être beaucoup plus importantes en terme de surface que les autres.

les surfaces vitrées (ou opaque) doivent représenter $1/6$ de la surface totale habitable de la maison.

L'étude thermique l'imposera, $1/6$ étant le minimum.

d. L'influence de l'environnement physique du bâtiment :

Il existe deux types d'ouverture:

- Une fenêtre zénithale (horizontale et verticale) : est l'ensemble des dispositifs d'éclairage naturel montés en toiture. Ce type de dispositif reçoit de 3 à 5 fois plus de lumière qu'une fenêtre latérale, avec un gain de chaleur deux fois plus important lorsque celle-ci est orientée vers le sud en plein été.
- Une fenêtre latérale (verticale) : est théoriquement le dispositif d'éclairage naturel le plus optimal en raison de ses qualités lumineuses, thermiques, sensorielles et sociales, La communication et la porosité aux ambiances intérieure et extérieure, sont ses qualités principales.

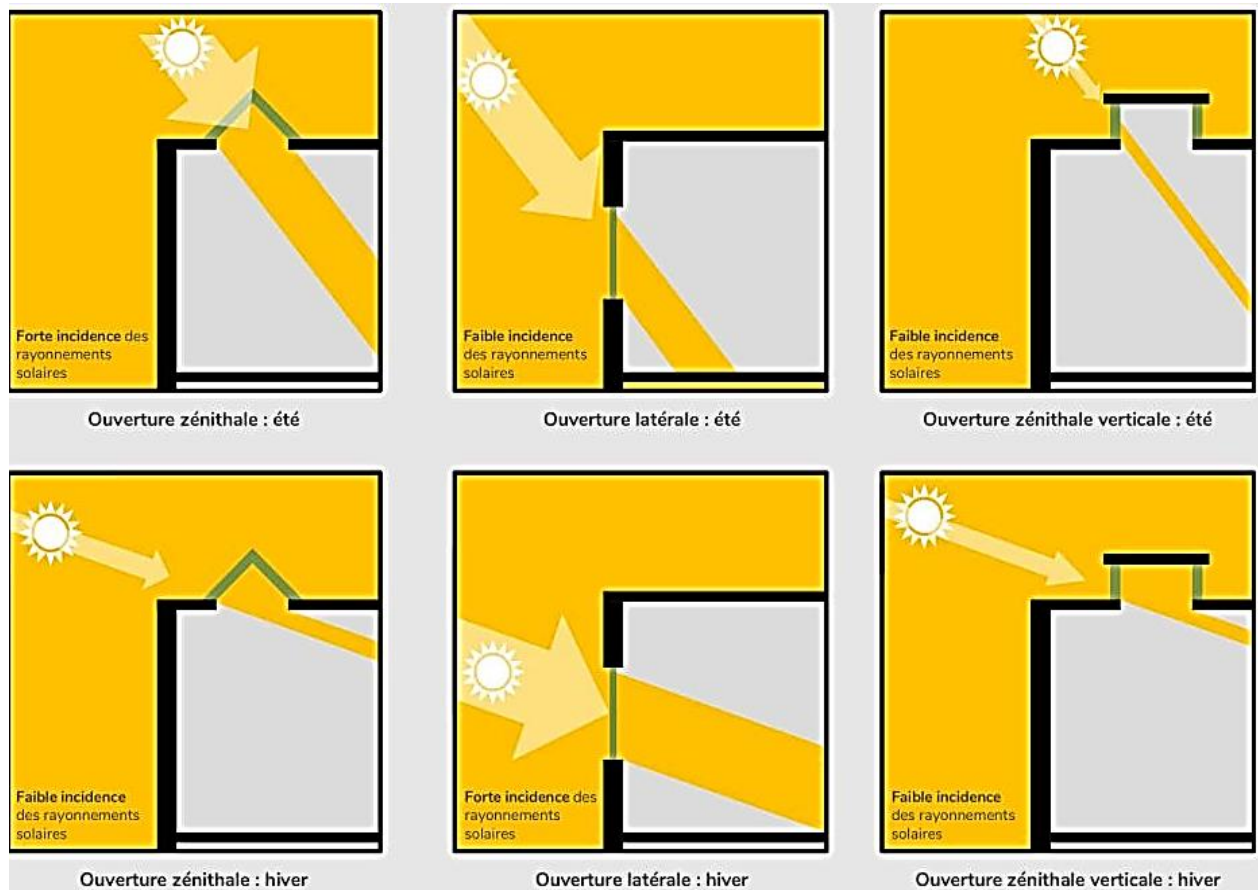


Figure II.3. Différence entre des ouvertures latérales et zénithales

Source : Guide bâtiment durable¹⁵

Pour capter le maximum de rayonnement solaire direct, une ouverture doit être la plus perpendiculaire possible aux rayons du soleil.

La lumière disponible dépend de l'environnement direct du bâtiment par le jeu de différents paramètres :

- Le relief du terrain (pente du terrain) provoque ombre ou ensoleillement
- Les constructions voisines (ombrage)

¹⁵ Brussels, Limiter les gains solaires, Guide bâtiment durable, 2020, <https://www.guidibatimentdurable.brussels/limiter-charges-thermiques/limiter-gains-solaires>

- La végétation,... (écran naturel)
- Le coefficient de réflexion du sol (facteur de réflexion des surfaces extérieures)

Ces paramètres ne doivent pas être négligés car ils peuvent transformer l'effet de la lumière dans un espace en offrant un meilleur éclairage par réflexion des rayons ou en empêchant le rayonnement solaire d'atteindre une surface que l'on désire ensoleiller "masque solaire".



Figure II.4. Éclairage et écran naturel
Source : le guide de l'hébergement touristique durable¹⁶

II.2. Transmettre (conduire) :

Transmettre la lumière naturelle consiste à favoriser sa pénétration à l'intérieur d'un local.

Il existe plusieurs paramètres qui rentrent dans le choix des ouvertures:

- La forme du bâtiment : La forme du bâtiment déterminent le pourcentage d'ouvertures sur l'enveloppe extérieure et le nombre de fenêtres possibles sur chaque façade.
- La surface du plancher : La surface de la fenêtre est déduite de la surface du plancher. Pour une bonne répartition de la lumière à l'intérieur de l'espace, celle-ci doit occuper l'équivalent de 16% de la surface de plancher en moyenne.
- L'orientation du bâtiment : La qualité lumineuse de la fenêtre est étroitement liée à l'orientation du bâtiment.
- Le climat : Le type de climat a une influence considérable sur la dimension des ouvertures dans l'enveloppe du bâtiment.
- La profondeur de l'espace : La profondeur qu'une fenêtre permet d'éclairer dépend de la hauteur de celle-ci. Un consensus général sur cette profondeur est compris entre 1.5 à 2.5 fois la hauteur sous linteau de la fenêtre. Cette zone qui peut aller de 4.5m à 6m est communément appelée : zone passive.

¹⁶ Le guide de l'hébergement touristique durable, les principes de l'architecture bioclimatique, <http://hebergement-touristique-durable.lenord.fr/architecture-bioclimatique.html>

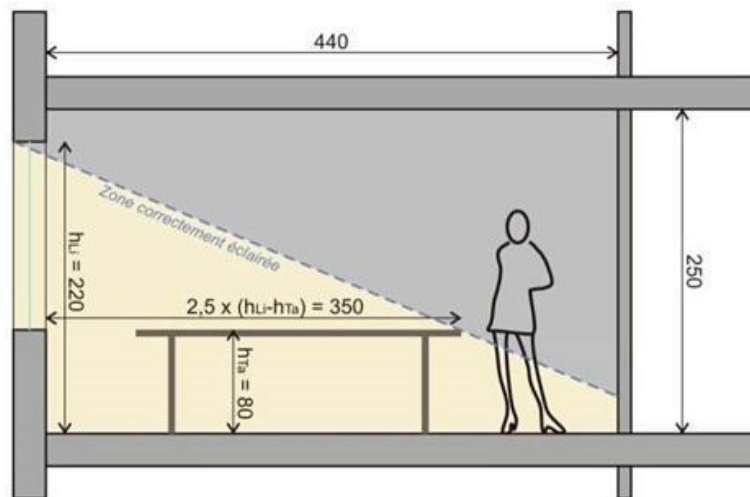


Figure II.5. Rapport entre la hauteur de la fenêtre et la profondeur d'éclairage
Source : Guide bâtiment durable¹⁷

La transmission de la lumière dans un espace est influencée par les caractéristiques de l'ouvertures:

- Ses dimensions,
- Sa forme et sa position,
- Le matériau de transmission utilisé.
- Les dimension du local et son aménagement intérieur.

a. La position de l'ouverture :

Dépend de la distribution lumineuse souhaitée à l'intérieur de l'espace ainsi que du taux d'éblouissement à éviter. Plus la fenêtre est élevée, mieux le fond du local est éclairé et plus la zone éclairée naturellement est profonde.

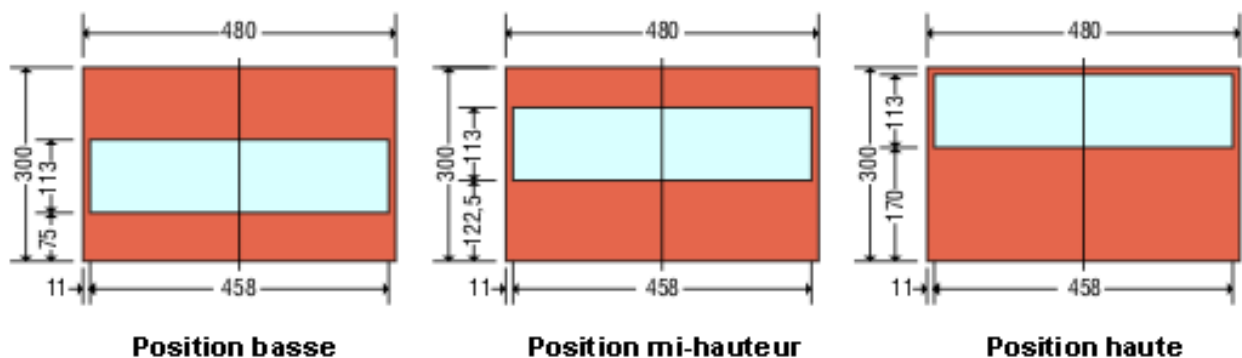


Figure II.6. Position des ouvertures
Source : Energie plus¹⁸

¹⁷Brussels, Capter la lumière naturelle, Guide bâtiment durable,
<https://www.guidebatimentdurable.brussels/assurer-confort-visuel-moyen-lumiere-naturelle/capter-lumiere-naturelle>

¹⁸Energie plus, Choisir la fenêtre comme capteur de lumière naturelle,
<https://energieplus-lesite.be/concevoir/fenetres2/position-et-la-dimension-fenetre/choisir-la-fenetre-comme-capteur-de-lumiere-naturelle-d1/>

b. La forme de l'ouverture :

Lorsque la largeur de la fenêtre diminue, la répartition devient moins uniforme, bien que l'éclairement moyen soit pratiquement le même dans les trois cas étudiés. Par contre, l'éclairement du fond du local augmente avec la hauteur de la fenêtre.

L'idéal réside dans une fenêtre horizontale, mais dont le linteau est élevé. Dans le cas de deux fenêtres séparées, une zone d'ombre apparaît entre celles-ci, ce qui peut créer des problèmes de confort visuel pour les occupants.

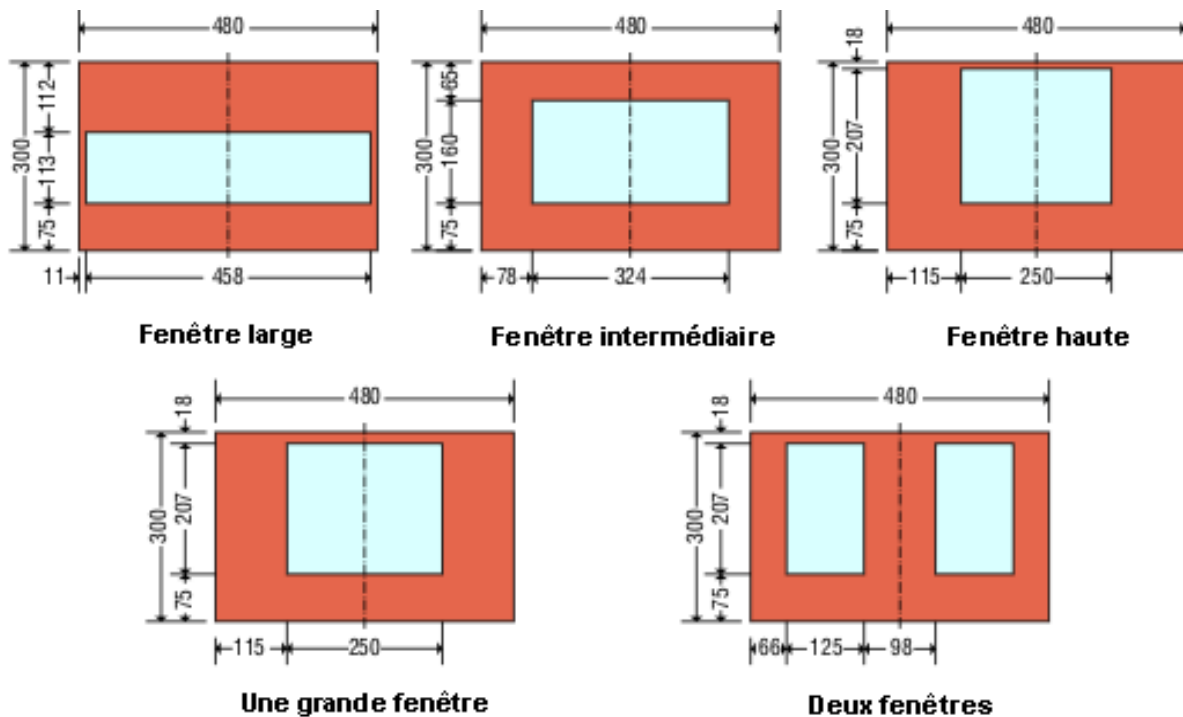


Figure II.7. Formes des ouvertures

Source : Energie plus¹⁹

c. Matériaux de transmission :

Le comportement du matériau de transmission est un élément déterminant dans la qualité et la quantité de lumière collectée. Il peut être clair ou teinté dont les propriétés lui permettent de sélectionner le spectre lumineux, en transmettant ou en réfléchissant certaines longueurs d'ondes. Le pourcentage de lumière transmise à travers un vitrage est appelé transmission lumineuse (TL). Plus il est élevé, meilleur est le passage de la lumière.

¹⁹ Idem

Type de vitrage		Transmis- sion lumi- neuse (%)
Simple	Clair	90
Double	Clair	81
	Clair et basse émissivité	78
	Clair et absorbant	36 à 65
	Clair et réfléchissant	7 à 66
Triple	Clair	74

Figure II.8. Rapport entre la transmission de la lumière et le type du vitrage
Source : Wordpress²⁰

d. Aménagement intérieur :

La forme intérieure ainsi que les éléments constituant sa configuration spatiale, les matériaux de revêtements des sols et des parois, contribuent considérablement à la quantité et la qualité de la lumière transmise par la fenêtre.

L'agencement des pièces doit au possible être pensé pour laisser circuler la lumière.

II.3. Distribuer (Répartir) :

La répartition de la lumière représente un facteur clé pour assurer un bon éclairage.

Distribuer la lumière naturelle consiste à diriger et à transporter les rayons lumineux de manière à créer une bonne répartition de lumière dans le bâtiment. La difficulté d'utilisation de la lumière naturelle par rapport à la lumière artificielle réside dans la grande inhomogénéité des éclairagements qu'elle induit en général.

Une répartition de la lumière naturelle dans un bâtiment peut être favorisée par différentes approches basées sur :

- Le type de distribution lumineuse (direct, indirecte),
- La répartition des ouvertures,
- L'agencement des parois intérieures,
- Le matériau des surfaces du local,
- Les zones de distribution lumineuse,
- Les systèmes de distribution lumineuse.

²⁰ Wordpress, La lumière au sein de la tour, un enjeu d'avenir, <https://grattecieltpe.wordpress.com/2-leclairage-au-sein-de-la-tour-un-facteur-de-bien-etre/>

a. Type de distribution lumineuse (direct, indirecte) :

L'éclairage naturel direct engendre des risques importants d'éblouissement et entraîne une répartition des luminances très irrégulière dans le local. Il diffère entre éclairage latérale direct et éclairage zénithal direct par le biais des tabatières ou skylights, les verrières et les dômes

L'éclairage naturel indirect utilise les réflexions des rayons lumineux sur une paroi pour obtenir une distribution lumineuse plus homogène. Cependant, le niveau d'éclairement assuré dépend fortement du coefficient de réflexion de la paroi et donc de sa maintenance régulière. Ce type d'éclairage est recommandé dans les environnements de travail tels que les bureaux, les écoles, les entrepôts ou les hôpitaux, la lumière indirecte est particulièrement importante pour maintenir la concentration et les niveaux de concentration tout au long de la journée.

Il existe plusieurs dispositifs pour l'éclairage indirect, entre autres les toitures en dents de scie (sheds), les lanterneaux, les puits de jour (patio, cour intérieure et atrium). Cependant, les avancées dans ce domaine ne cessent de voir le jour pour augmenter la performance énergétique du bâtiment.

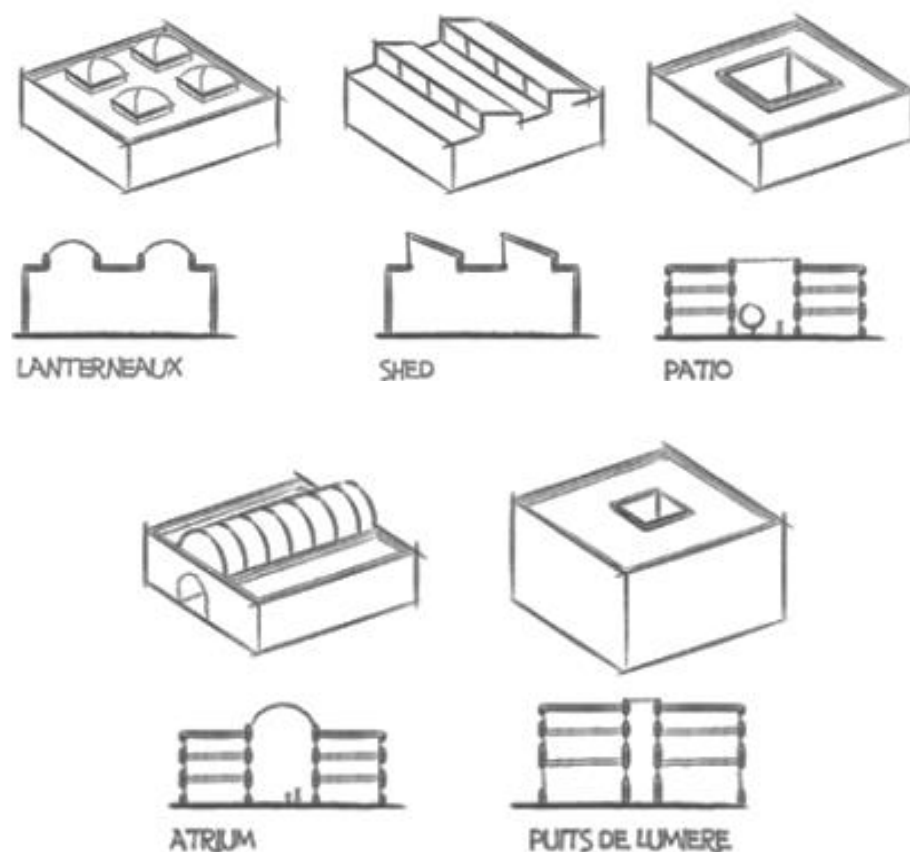


Figure II.9. Distribution lumineuse indirecte

Source : ICEB²¹

²¹ ICEB, "Les guides Bio-Tech, L'éclairage naturel", 2014 https://www.arec-idf.fr/fileadmin/DataStorageKit/AREC/Etudes/pdf/guide_bio_tech_eclairage_naturel.pdf

b. Autres dispositifs de distribution lumineuse indirects :

Comme le plafond ne reçoit la lumière naturelle que de manière indirecte, son influence sur la répartition de la lumière est relativement faible. En revanche, lorsqu'un dispositif de distribution lumineuse dévie la lumière vers le haut, par exemple à l'aide d'un light shelf, le plafond reçoit une grande quantité de lumière qu'il doit répartir dans toute la pièce; le facteur de réflexion de cette surface doit alors être élevé ($> 70\%$), valeur correspondant à celle du plâtre blanc propre.

- Les conduits de lumière (light pipe) :

Le Les conduits de lumière est un dispositif d'éclairage naturel qui permet d'apporter de la lumière naturelle dans des pièces qui ne possèdent pas d'ouvertures sur l'extérieur ou en complément d'une ouverture existante. Il est constitué de trois composants :

- une coupole qui capte la lumière de l'extérieur,
- un conduit de lumière qui se présente sous la forme d'un tube recouvert d'un film réfléchissant permettant de guider la lumière par réflexion,
- un diffuseur, qui répartit la lumière dans la pièce à éclairer.

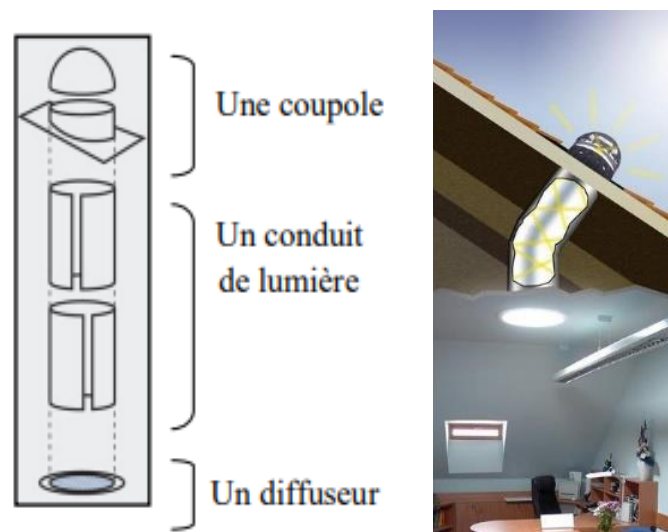


Figure II.10. Les conduits à lumière

Source : Daich.Safa²²

Un conduit solaire transmet la lumière solaire directe au cœur même du bâtiment. Le rayonnement solaire est capté au moyen d'un système de miroirs et de lentilles ou de capteurs paraboliques, éléments qui se meuvent en fonction de la trajectoire du soleil.

²²Daich S., Simulation et optimisation du système light shelf sous des conditions climatiques spécifiques, Cas de la ville de Biskra, mémoire de magister, Université Mohamed Khider Biskra, 2011, <http://thesis.univ-biskra.dz/1126/>

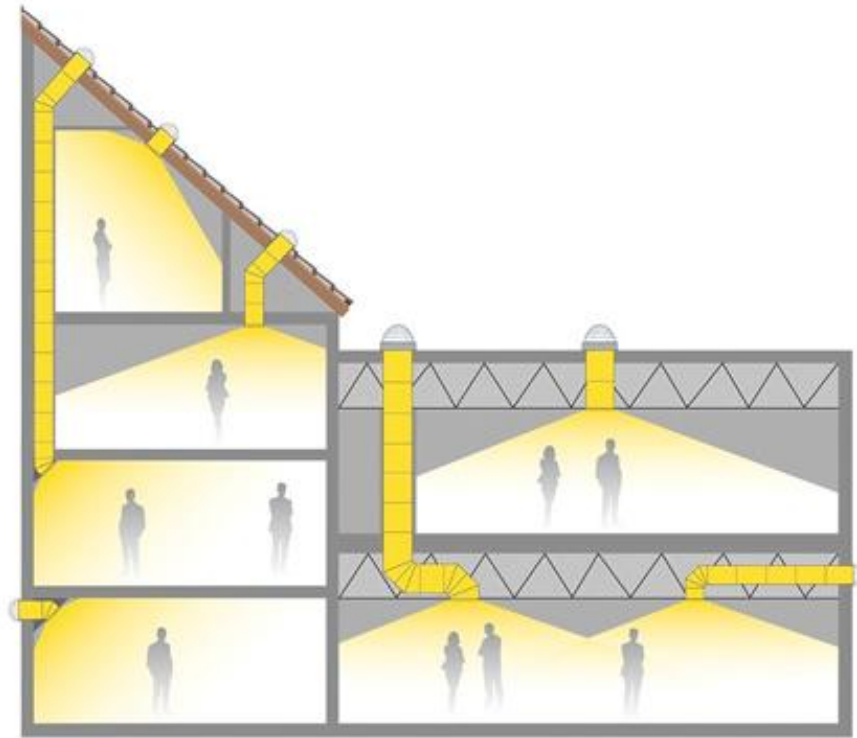


Figure II.11. Les conduits de lumière
Source : Interferenz²³

- Les plafonds anidoliques :

Le plafond anidolique est un système d'éclairage zénithal composé de deux miroirs de forme parabolique jouant le rôle de concentrateurs qui captent le flux lumineux entrant et le redistribuent sur une zone plus large. Le plafond anidolique est un système de distribution intensif de la lumière naturelle adapté au ciel couvert.

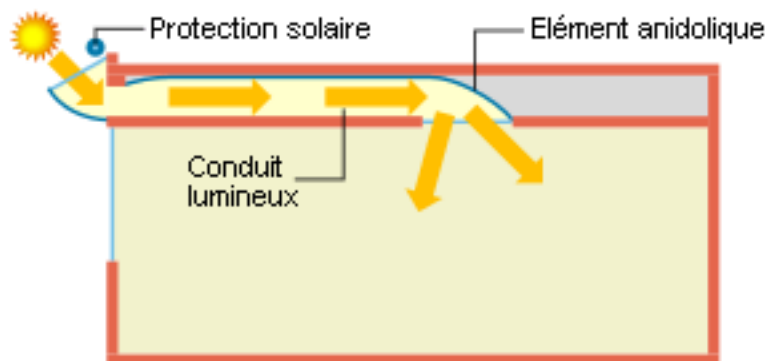


Figure II.12. Plafond anidolique
Source : Energie plus²⁴

²³ Interferenz, Le système lumière du jour Solatube, <https://www.interferenz.de/solatube.0.html>

²⁴ Energie plus, Light-shelf, <https://energieplus-lesite.be/techniques/enveloppe7/composants-de-l-enveloppe/composants-divers/light-shelf/>

- Les étagères de lumière (light shelf) :

Lorsque la luminosité dépasse le seuil idéal, des outils de control doivent être envisagés pour modérer le passage de la lumière.

Un light shelf est un dispositif conçu pour capter la lumière du jour et la réorienter vers le fond de l'espace par réflexion au niveau du plafond et cette stratégie va entraîner une répartition plus uniforme de la lumière.

Le light shelf divise la fenêtre en une partie inférieure, qui sert à fournir une vue vers l'extérieur et une partie supérieure très réfléchissante qui sert à rediriger la lumière du jour vers le fond de l'espace. Ce système peut prendre différentes configurations : horizontales ou inclinées, droites ou incurvées, situées à l'intérieur et/ou à l'extérieur de la fenêtre, comme il peut être combiné.

Ils peuvent faire partie de la façade extérieure uniquement, installé à l'intérieur ou les deux.

- Le light shelf extérieur donne les meilleurs résultats du point de vue du niveau d'éclairement en fond de pièce, tout en ombrant la grande fenêtre.
- Placé à l'intérieur, il réduit le niveau d'éclairement moyen du local, mais offre toutefois un ombrage pour la partie supérieure du vitrage.
- Enfin, le light shelf combiné assure la distribution lumineuse la plus uniforme dans le local; il se révèle également la meilleure protection solaire.

Les light shelves extérieurs sont plus efficace pour réduire le gain de chaleur thermique mais ils sont plus sujets aux dommages dus aux précipitations et à la pression du vents. On peut donc utiliser des étagères extérieures avec perforation.

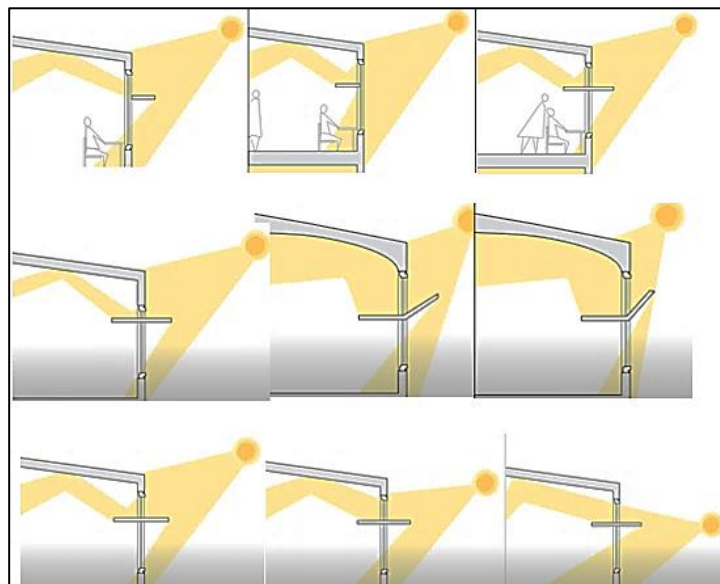


Figure II.13. Le light shelves

Source: Yalda Sabetazad²⁵

²⁵ Sabetazad Y., Architectural Daylighting Tools: Light Shelves, 2022, <https://www.youtube.com/watch?v=4wkvrQu7lXY>

- Les stores réfléchissants (les persiennes) :

Les stores réfléchissants actuels ou les persiennes ont une double fonction : la première est de réduire l'effet de l'éblouissement causé par la fenêtre qui provient de la pénétration directe du rayonnement solaire dans un espace, la deuxième, consiste à rediriger la lumière naturelle.

Le système de lamelle fonctionne de façon optimale dans des conditions de ciel clair avec soleil. Les persiennes peuvent être conçues pour être statiques ou dynamiques. Dans le dernier cas, elles sont contrôlées automatiquement de manière qu'elles puissent suivre le mouvement du soleil.



Figure II.14. Les stores réfléchissants

Source : Energie plus²⁶

II.4. Se protéger :

Se protéger de la lumière naturelle consiste à arrêter partiellement ou totalement le rayonnement lumineux lorsqu'il présente une source d'inconfort visuel ou thermique pour les occupants et gêne les utilisations des locaux.

Il est essentiel donc de se protéger dans certains cas de la lumière naturelle (surtout si elle constitue une source d'éblouissement) par une protection solaire.

Il existe des protections intérieures permanente ou mobile, extérieures permanentes ou mobiles et des protections intermédiaires en interface.

²⁶ Energie plus, Déflecteurs de lumière naturelle,
<https://energieplus-lesite.be/techniques/enveloppe7/composants-de-l-enveloppe/composants-divers/deflecteurs-de-lumiere-naturelle/>

Quelques protections permanentes :

- Auvents
- Avancée architecturale
- Vitrages spéciaux
- Films et autocollants

Quelques protections mobiles :

- stores
- végétation (Extérieurs)
- Volets
- Films et autocollants

La plupart des protections solaires limitent la vue vers l'extérieur, dégradant ainsi le confort visuel.

Dans le cas des protections solaires structurelles (fixes), les auvents représentent la meilleure solution pour ne pas perturber la vue vers l'extérieur mais ceux-ci ne sont réellement efficaces comme protection solaire que sur les façades exposées au sud. Pour les autres orientations, il est préférable de choisir des protections solaires mobiles offrant une certaine vue.

II.5. Contrôler :

Contrôler la lumière naturelle consiste à gérer la quantité et la distribution de la lumière dans un espace en fonction de la variation des conditions climatiques et des besoins des occupants.

La gestion de l'éclairage permet de:

- Répondre à la variation continue de la lumière naturelle.
- Adapter l'ambiance lumineuse d'un local aux besoins de ses utilisateurs.

Les solutions de contrôle de l'éclairage naturel sont classées en trois catégories:

- L'utilisation de systèmes d'éclairage naturel adaptables, tels que des éléments de contrôle amovibles.
- Le zonage de l'installation d'éclairage artificiel en fonction de la lumière naturelle disponible.
- La régulation du flux des lampes en fonction de la présence de lumière naturelle.

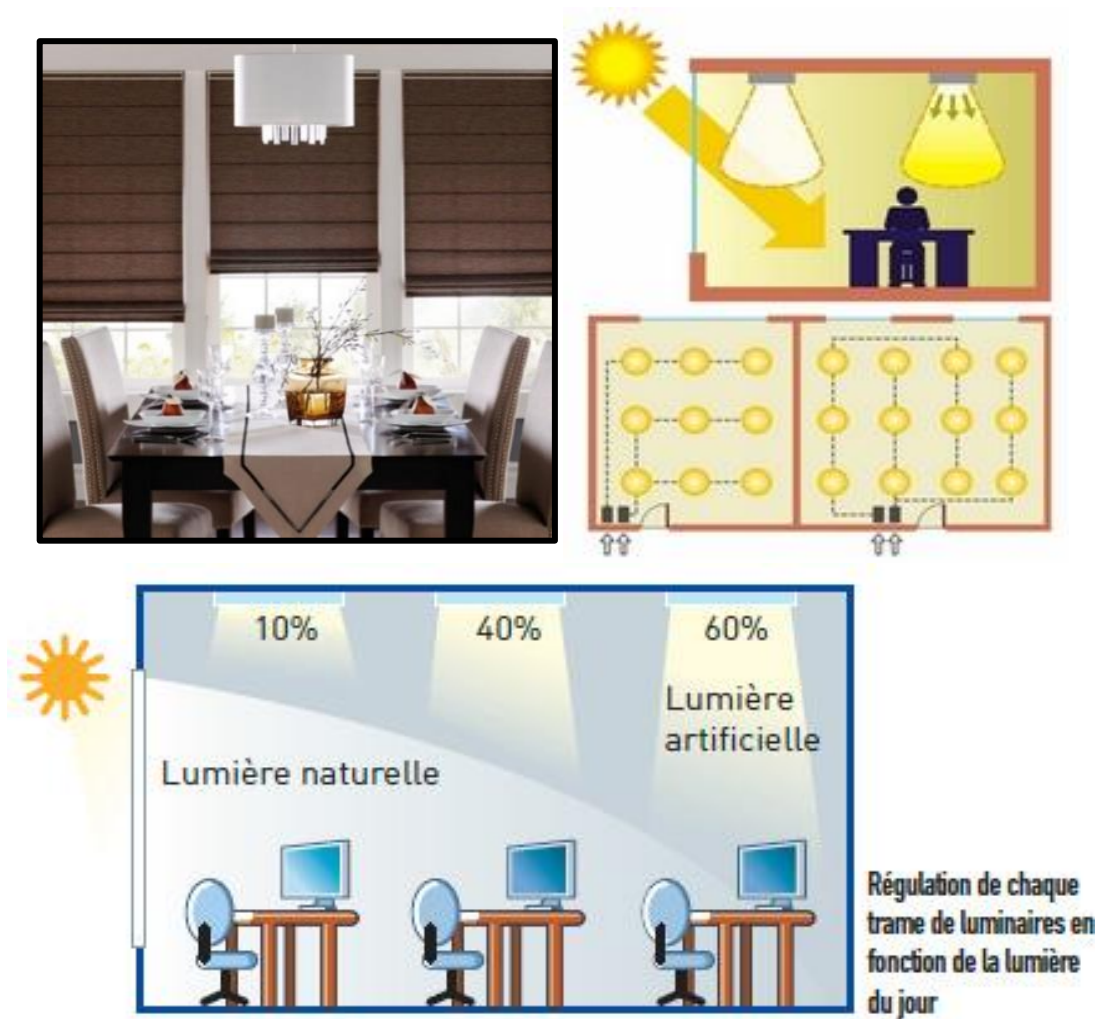


Figure II.15. Contrôle de lumière naturelle
Source : uclouvain²⁷

Conclusion :

L'utilisation efficace de la lumière du jour dans les bâtiments ne joue pas seulement un rôle important dans l'efficacité énergétique, mais permet également de contribuer au bien-être des personnes en créant un environnement intérieur sain.

L'extrême complexité du comportement de la lumière naturelle conduit de nombreux architectes à négliger les qualités intrinsèques de l'éclairage naturel au profit d'un éclairage artificiel plus adaptable. Néanmoins, la lumière naturelle est le mode d'éclairage le plus agréable, le plus performant et le plus économique.

²⁷ Université Catholique de Louvain, L'éclairage naturel des bâtiments, Guide : la stratégie de la lumière naturelle, https://sites.uclouvain.be/eclairage-naturel/guide_strategies.htm

Chapitre 3 : Éclairages artificiel

Introduction :

On admet depuis longtemps que la lumière artificielle permet de prolonger l'activité quotidienne. Comme les activités sociales et la détente surviennent généralement après la journée de travail, l'éclairage intérieur a toujours entretenu un lien étroit avec ces aspects de la vie.

I. Lumière artificielle, généralité :

La lumière artificielle, c'est l'éclairage que l'on produit grâce à des lampes et des projecteurs notamment. Elle a besoin d'alimentation électrique pour fonctionner ou même d'alimentation par batterie.

L'éclairage artificiel a comme objectifs :

- L'illumination fonctionnelle :

Elle permet d'effectuer des tâches courantes en toute sécurité, dans des zones ciblées, comme par exemple l'illumination de l'accès d'un bâtiment.

- L'illumination promotionnelle :

Elle consiste à attirer l'attention d'un passant sur un ou plusieurs objets de consommation, comme par exemple l'illumination d'un panneau publicitaire ou d'un produit.

- L'illumination architecturale :

Il s'agit de révéler les détails d'un bâtiment, ou d'un paysage afin de créer des liens avec leurs caractéristiques architecturales. C'est un domaine dans lequel le concepteur lumière a besoin de créativité et d'intuition.

D'autre part l'éclairage artificiel se distingue en deux catégories :

- Éclairage intérieur :

Les gens passent principalement leur temps à l'intérieur des bâtiments. La lumière du jour ainsi qu'une bonne lumière artificielle augmentent le bien-être et la capacité de concentration et offre un confort visuel aux occupants.

- Éclairage extérieur :

Il n'a été utilisé que pour remplir un rôle fonctionnel mais de nos jours, les gens comprennent mieux l'importance de cet éclairage dans la conception des ambiances extérieures.

Quel que soit le type de bâtiment, l'objectif recherché lors de la conception de l'éclairage artificiel sera de minimiser la consommation électrique qui y est liée.

Dans une démarche d'utilisation rationnelle de l'énergie (URE), il convient de ne considérer l'éclairage artificiel que comme un complément à la lumière naturelle²⁸.

L'éclairage artificiel rationnel a comme objectifs :

- Diminuer la puissance installée tout en garantissant un éclairage suffisant
- Choix du matériel d'éclairage (lampe, luminaire,) ayant la meilleure efficacité énergétique ;
- Adapter la fourniture d'éclairage aux besoins réels en fonction de l'occupation et de l'apport en éclairage naturel.

L'éclairage artificiel dans les bureaux diffère de celui des logements car l'occupation et la taille des locaux, les tâches effectuées et l'ambiance lumineuse recherchée sont particulières à ces deux programmes de bâtiment. Ces particularités impactent les normes d'éclairage à appliquer, le choix du matériel et les solutions techniques et pratiques à mettre en place.

II. Choix des luminaires, Critères généraux :

Les performances des lampes sont très variables en fonction de la puissance, de l'efficacité lumineuse, de la couleur et de la durée de vie de l'équipement.

Les différents paramètres qui permettent de juger de la qualité d'une lampe sont :

- L'efficacité lumineuse qui est le rapport entre le flux lumineux émis par la lampe et la puissance électrique consommée. L'unité est le lumen/Watt (lm/W).
- La température de couleur ;
- L'indice de rendu des couleurs ;
- La durée de vie.

²⁸IBGE (Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement, Rapport technique - Bâtiments exemplaires : Fiche 2.2 : La conception de l'éclairage artificiel dans les logements et les bureaux, 2010, https://document.environnement.brussels/opac_css/elecfile/IF%20RT%20BATEX%20Fiche2.2.%20Eclairage%20FR.pdf

Type de source	Puissance [W]	Efficacité [lm/W]	T. de couleur [K]	IRC	Durée de vie [h]
Incandescence					
Standard	15 – 1000	8 – 18	2600 - 2900	100	1000
Halogène basse tension	50 – 2000	8 – 18	3000	100	2000
Halogène très basse tension	15 – 100	8 – 18	3000	100	2000 – 4000
Fluorescence					
Tubes fluorescents	18/36/58	8 – 18	2700 – 6500	66 – 98	8000 – 12000
Fluocompactes de substitution	5 – 23	8 – 18	2700 – 3000	85	8000
Fluocompactes d'intégration	5 – 55	8 – 18	2700 – 4000	85	8000 – 12000
A décharge					
Aux halogénures métalliques	20 - 2000	15 - 1000	3000 – 6000	65 – 85	6000 – 8000
A vapeur de sodium haute pression	35 - 1000	15 - 1000	2000 - 2500	80	8000 - 24000
LED					
LED	1,5 - 20	70 - 130	2600 - 10000	50 - 100	15000 - 40000

Figure III.1. Caractéristiques types pour différentes sources lumineuses
Source : Roger Cadiergues²⁹

En effet, le Choix des luminaires repose sur les Critères suivants³⁰ :

- Choix en fonction du rendement lumineux
- Choix en fonction de l'assemblage, du montage et de la maintenance (facilité et position)
- Choix en fonction de la structure du plafond
- Choix en fonction de la qualité acoustique
- (Les luminaires à faible rendement équipés de ballasts électromagnétiques sont souvent à l'origine de problèmes de bruit).
- Choix en fonction de la qualité électrique
- Choix en fonction de la puissance des lampes.
- Choix en fonction de la climatisation
- Choix en fonction du prix

²⁹Cadiergues R., L'éclairage artificiel, Guide RefCad nR27.a, <https://media.xpair.com/auxidev/nR27a.pdf>

³⁰Energie plus, Choisir les luminaires ; critères généraux, <https://energieplus-lesite.be/concevoir/eclairage3/choisir-les-luminaires/choisir-les-luminaires-criteres-generaux/>

III. Modes d'éclairage artificiel :

L'éclairage artificiel peut faire appel à 3 modes d'éclairage :

- L'éclairage direct
- L'éclairage indirect
- L'éclairage mixte

III.1. L'éclairage direct :

Comme son appellation l'indique, l'éclairage direct va permettre d'illuminer directement une pièce ou un objet. Et ce, sans que le faisceau de lumière émis ne rencontre un quelconque obstacle ou intermédiaire entre la source et la surface à éclairer.

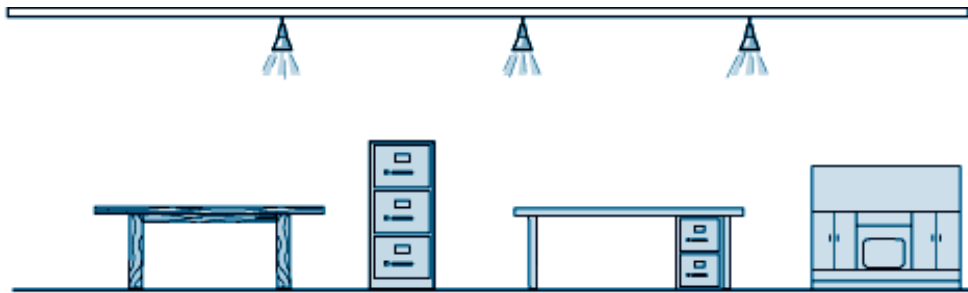


Figure III.2. Éclairage direct
Source : Richard Forster³¹

a. Avantages :

- C'est un mode d'éclairage qui va apporter précision et efficacité.
- La lumière cible un endroit/objet bien précis comme un bureau, espace de travail ou autre.
- La lumière n'est pas réfléchi avant d'atteindre la tâche à éclairer. Le rendement est donc meilleur.
- Permet d'éviter toute perte d'intensité lumineuse, évitant ainsi les déperditions.

b. Inconvénients :

- Peut-être gênant. Voire carrément désagréable s'il est trop dirigé vers les regards des personnes. Puisqu'il va être éblouissant et donc, inconfortable.
- Risque d'éblouissement et de contraste entre des zones sombres (par exemple le plafond) et des zones lumineuses.
- Le plafond peut paraître obscur (effet de grotte).

³¹ Forster R., L'éclairage, Encyclopédie de sécurité et de santé au travail 3e édition française, <https://www.ilocis.org/fr/documents/ilo046.htm>

c. Recommandation :

- Éviter de le placer dans le champ de vision. On le situe au-dessus, en plafonnier ou en suspension.
- Dans les angles plats, une protection contre l'éblouissement est essentielle
- L'agencement du poste de travail doit éviter toute formation d'ombres.

III.2. L'éclairage indirect :

Encore une fois, le nom est relativement explicite puisqu'il est ici question d'un mode d'éclairage qui va avoir une source lumineuse dirigée vers une surface dite "réfléchissante". Le plafond ou les murs sont utilisés comme réflecteur pour diffuser la lumière.

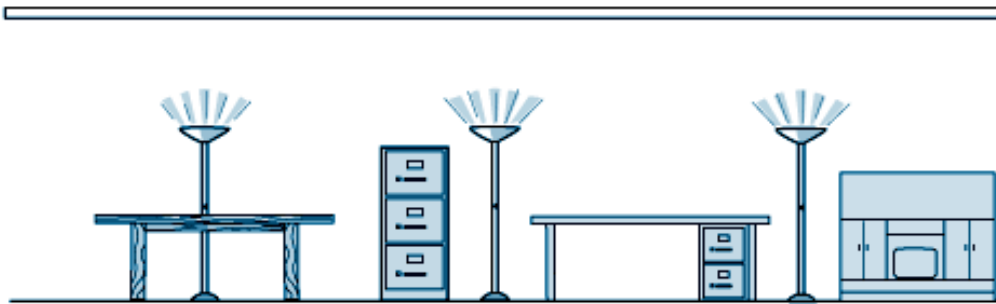


Figure III.3. Éclairage indirect
Source : Richard Forster³²

On peut projeter la lumière d'un lampadaire vers un plafond ou une applique vers un mur par exemple. Les risques d'éblouissement sont limités, on crée une lumière d'ambiance mais on perd en efficacité.

a. Avantages :

- Adoucit la lumière et la rend plus confortable grâce aux intermédiaires entre la source de lumière et la surface de la pièce à éclairer.
- Apporte homogénéité et harmonie dans le faisceau lumineux créé.
- Les contrastes seront évités, ainsi que les ombres gênantes.
- La pièce gagne en hauteur
- Les postes de travail peuvent être agencés librement.

b. Inconvénients :

- Le faisceau doit d'être plus intense pour être véritablement efficace (Efficacité énergétique moins bonne).

³²Idem

- L'effet de lumière peut paraître diffus à cause de la pauvreté de l'ombrage
- L'importance d'avoir des surfaces réfléchissantes impérativement propres pour obtenir une belle luminosité.
- L'éclairage dépend fortement des coefficients de réflexion des parois sur lesquelles la lumière est réfléchie.
- Ce type d'éclairage ne produit pas d'ombre. Il peut donc être monotone et rendre difficile la perception d'objets tridimensionnels.

III.3. Éclairage mixte :

Ce mode d'éclairage combine l'éclairage direct et l'éclairage indirect. La partie indirecte reste toutefois dominante.



Figure III.4. Éclairage mixte
Source : Richard Forster³³

a. Avantages :

Les avantages de ce mode d'éclairage sont identiques à ceux de l'éclairage indirect.

- Répartition uniforme et absence d'éblouissement
- Ce système est énergétiquement le plus intéressant.
- La partie directe crée des ombres avantageuses et permet de réduire la luminance du plafond.
- La perception de la pièce est agréable (un vrai sentiment de volume)
- Grande acceptation par les utilisateurs
- Bons rapports de contraste
- Agencement flexible du poste de travail
- Bonne synergie entre l'efficacité énergétique et la qualité de l'éclairage.

³³ Idem

b. Inconvénients :

L'inconvénient principal est identique à celui du système d'éclairage indirect.

- Rendement très sensible aux coefficients de réflexion des parois.
- Il peut générer des contrastes, des ombres marquées ainsi que des réflexions gênantes.
- Moins précis et sera toujours plus gourmand en énergie que l'éclairage direct.

c. Recommandation :

- Le fait de veiller à une bonne uniformité permet de limiter les effets néfastes des contrastes.

IV. Schéma électrique : normes et symboles :

Un schéma électrique représente sous formes graphiques un circuit électrique. Il montre les différents symboles des éléments le composant ainsi que les interconnexions entre les éléments du circuit.³⁴

On distingue deux types de schémas électriques :

- Schéma électrique unifilaire :

Un trait représente l'ensemble des conducteurs qui relie les divers composants, c'est un schéma simple qui donne une idée générale du fonctionnement de l'installation.

- Schéma multifilaire :

Le schéma électrique multifilaire représente tous les conducteurs, ce qui permet une interprétation et une analyse claire des schémas de puissance et de commande.

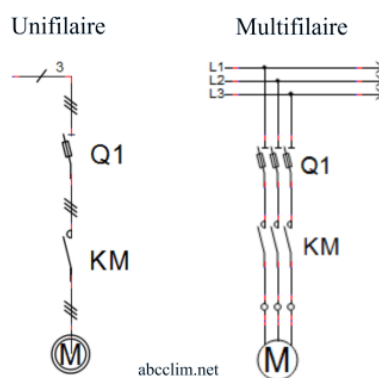


Figure III.5. Schéma unifilaire et multifilaire
Source : abcclim

Les représentations graphiques que sont les symboles sont nombreuses et spécifiques à chaque élément d'un circuit électrique. Dans ce qui suit, une liste non-limitative des symboles à utiliser pour établir un schéma électrique. D'autres exemples sur les installations filaires et multifilaires sont représentés sur les figures en annexes.

³⁴ abcclim, Comment lire un schéma électrique ? <https://www.abcclim.net/lecture-schema-electrique.html>

A. Généralités Description		Symbole
Courant continu		
Courant alternatif (symbole général)		
Courant alternatif monophasé		
Courant alternatif triphasé		
B. Appareillages électriques Description		Symbole
Représentation générale d'un tableau de manœuvre et de répartition		
Exemple de tableau de manœuvre et de répartition avec 5 canalisations électriques		
Boîte Symbole général		
Boîte de connexion, de dérivation, de raccordement		
Coffret de branchement		
Sectionneur de terre		
C. Canalisations Description		Symbole
Canalisation électriques Symbole général		
Canalisation électrique souterraine		
E. Interrupteurs Description		Symbole
Interrupteur Symbole général		
Interrupteur à lampe témoin. La lampe brille toujours et sert à retrouver l'interrupteur dans l'obscurité		
Interrupteur unipolaire à ouverture retardée		
Interrupteur bipolaire		
Interrupteur tripolaire		
Commutateur unipolaire (double allumage: pour établir ou interrompre séparément deux circuits d'un seul endroit)		
Interrupteur unipolaire va-et-vient (à deux directions: pour établir ou interrompre un circuit de 2 endroits différents)		
Interrupteur bipolaire va-et-vient (à deux directions)		
Commutateur intermédiaire pour va-et-vient (multidirections: associé avec deux interrupteurs va-et-vient aux deux extrémités, permet d'établir ou interrompre un circuit d'un nombre quelconque d'endroits)		
Gradateur		
Interrupteur unipolaire à tirette		

Interrupteur unipolaire à lampe de signalisation. La lampe brille lorsque l'appareil qu'il dessert, est en service		
Bouton poussoir		
Bouton poussoir à lampe témoin. Pour retrouver le bouton poussoir dans l'obscurité		
Bouton poussoir à accès protégé (glace à briser)		
Minuterie		
Interrupteur horaire		
D. Dispositifs de protection		Symbole
Coupe-circuit à fusible		
Coupe-circuit à fusible d'une intensité nominale de 16A		
Interrupteur automatique ou disjoncteur Les lettres majuscules inscrites à côté de ce symbole spécifient le mode de fonctionnement du disjoncteur. On emploie à cet effet: • la lettre M pour le déclencheur à maximum de courant; • la lettre O pour le déclencheur à manque de tension; • la lettre Δ pour le disjoncteur de terre à relais différentiels.		
Prise de terre, mise à la terre		
F. Prises de courant		Symbole
Description		
Socle de prise de courant		
Symbole général		
Socle pour plusieurs prises de courant (figurée pour 3)		
Socle de prise de courant semi-étanche, étanche ou hermétique		
Socle de prise de courant avec contact pour conducteur de protection		
Socle de prise de courant avec protection « enfant »		
Socle de prise de courant avec contact pour conducteur de protection et avec protection « enfant »		
Socle de prise de courant avec interrupteur bipolaire		
Socle de prise de courant avec interrupteur bipolaire de verrouillage		
Socle de prise de courant avec transformateur de séparation des circuits (par exemple: prise rasoir)		

G. Appareils d'utilisation		Symbole
Description		
Point d'attente d'appareil d'éclairage représenté avec canalisation électrique.		
Point lumineux		
Point d'attente d'appareil d'éclairage en applique murale		
Luminaire à fluorescence		
Symbole général		
Luminaire à 3 tubes fluorescents		
Projecteur		
Symbole général		
Projecteur à faisceau peu divergent		
Projecteur à faisceau divergent		
Luminaire avec interrupteur unipolaire incorporé		
Appareil d'éclairage de sécurité sur circuit de sécurité		
Appareil auxiliaire pour lampe à décharge		
Note: utilisé uniquement quand cet appareil n'est pas incorporé au luminaire		
Sonnerie		

Gâche électrique (ouverture et fermeture de porte)	
Ventilateur (représenté avec canalisation électrique)	
Appareil de chauffage	
Appareil de chauffage à accumulation	
Appareil de chauffage à accumulation avec ventilateur incorporé	
Chauffe-eau électrique	
Chauffe-eau à accumulation	
Appareil électroménager fixe	
Symbole général	
Cuisinière électrique	
Taquet de cuisson électrique	
Four à micro-ondes	
Four électrique	
Lave-linge	

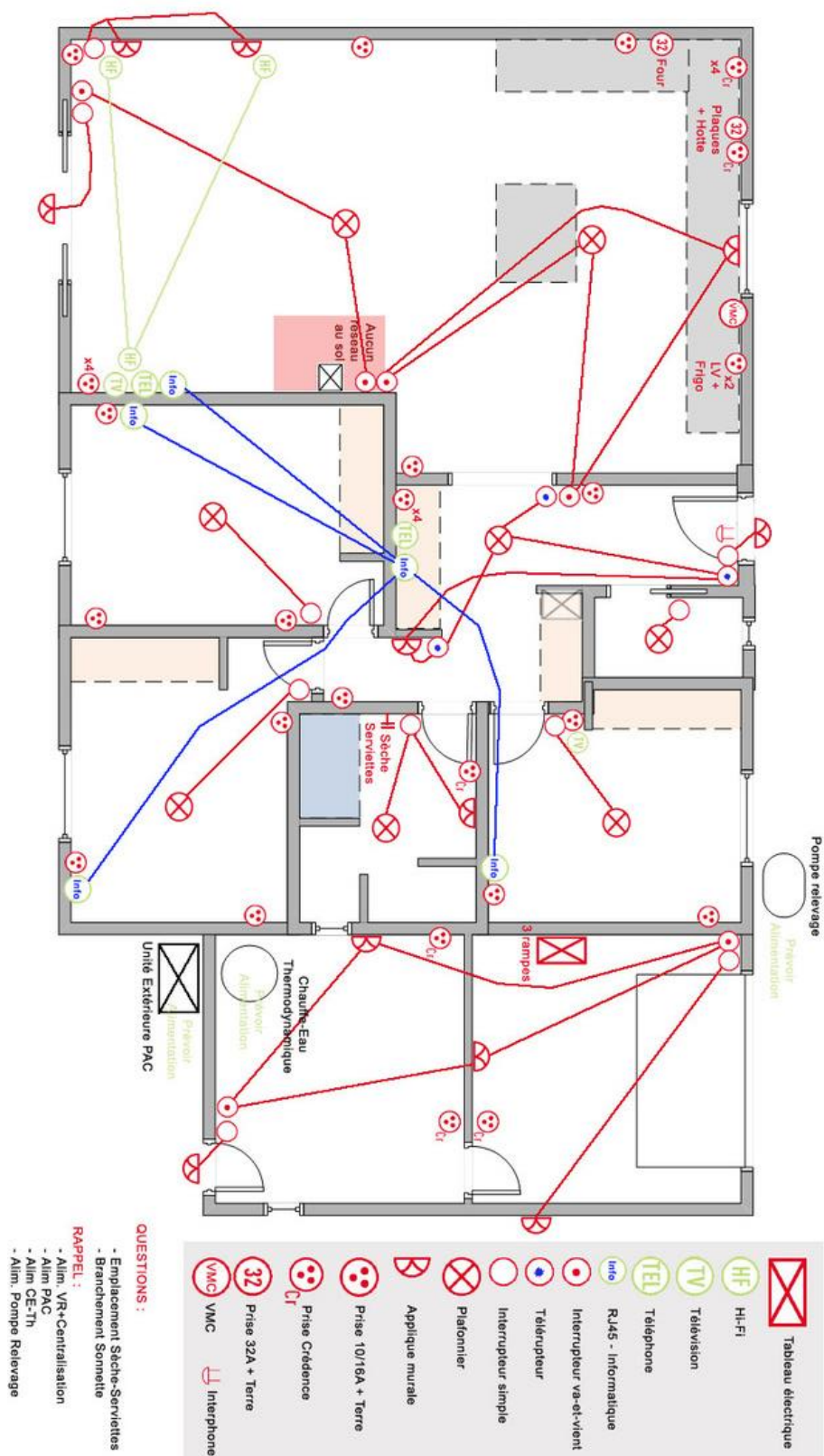


Figure III.6. Exemple d'utilisation de symboles dans une installation électrique domestique

Source : Le guide de la maison³⁵

³⁵ Le guide de la maison, l'électricité, 2013, <https://www.le-guide-de-la-maison.com/electricite.html>

V. Commande de gestion de l'éclairage artificiel :

La gestion de l'occupation des locaux est primordiale pour réduire les consommations d'électricité. La lampe la plus économique, c'est la lampe éteinte.

- Gestion et commandes manuelle
- Gestion et commandes automatique
- Gestion en fonction de la présence et mouvement (intelligente)

V.1. Gestion par commandes manuelles :

- Les interrupteurs :

Les interrupteurs constituent les organes de commande les plus simples dans une gestion d'occupation. Leur caractéristique principale est qu'ils restent en l'état ON ou OFF s'ils ne sont pas actionnés par l'occupant. Le changement d'état nécessite l'intervention de l'occupant.

L'occupant allume ou pas l'éclairage en fonction de sa sensibilité personnelle et des conditions d'ambiance du local dans lequel il se trouve. L'acte d'allumer ou d'éteindre est volontaire, ce qui devrait responsabiliser les occupants.

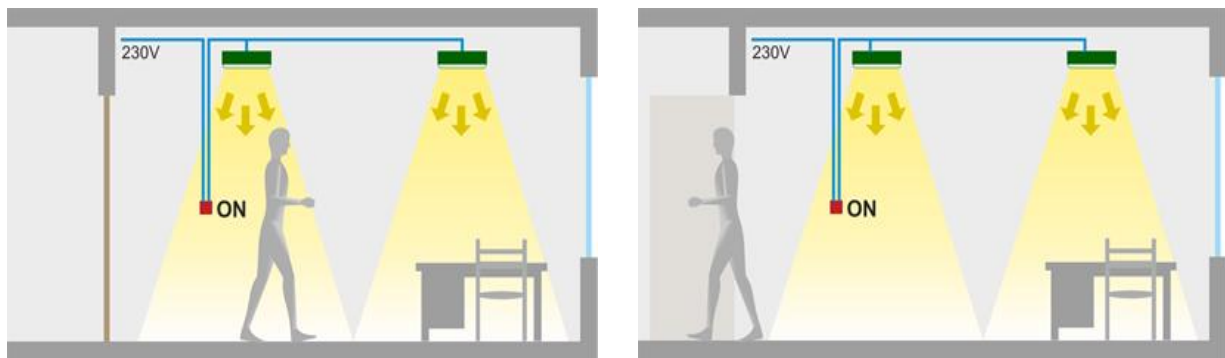


Figure III.8. Gestion par interrupteurs

Source : Energie plus³⁷

- Les boutons poussoirs :

L'idée est de combiner un allumage volontaire de l'éclairage à l'entrée de l'occupant dans son local ; et une extinction automatique du même éclairage par détection d'absence lorsque l'occupant quitte son local (possibilité de temporisation).

³⁷ Energie plus, Choisir la gestion et la commande, <https://energieplus-lesite.be/concevoir/eclairage3/choisir-la-gestion-et-la-commande/>

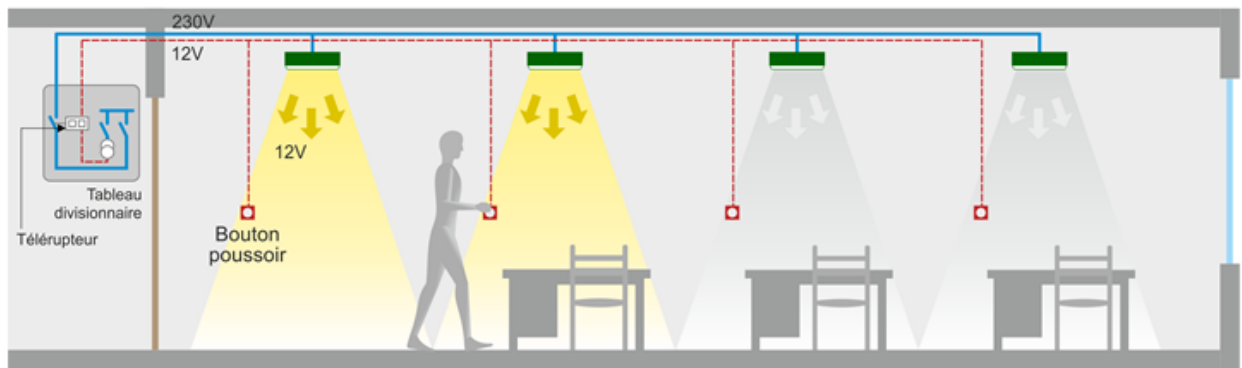


Figure III.9. Gestion par boutons poussoirs
Source : Energie plus (Idem)

V.2. Gestion en fonction d'un horaire (les minuteries) :

L'usage de minuteries assurant l'extinction automatique de l'éclairage est utilisé depuis longtemps dans les circulations (escaliers, halls, ...) où la présence des utilisateurs est momentanée.

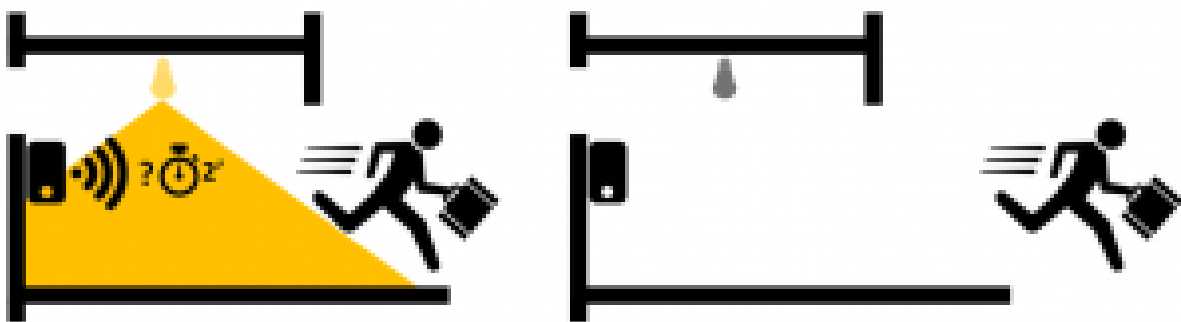


Figure III.10. Gestion par les minuteries
Source : Energie plus³⁸

V.3. Gestion en fonction de la présence et le mouvement :

Les détecteurs de présence, associés ou pas à des boutons poussoirs, permettent d'aider les gestionnaires de bâtiments dans leur "quête" à l'économie d'énergie. En effet, dans un local inoccupé, l'éclairage est éteint. En période d'occupation, ce même éclairage peut être allumé en fonction d'un scénario bien précis lié principalement à l'accès du local à la lumière naturelle.

³⁸ Energie plus, gestion en fonction d'un horaire, <https://energieplus-lesite.be/techniques/eclairage10/commandes/gestion-en-fonction-d-un-horaire/>

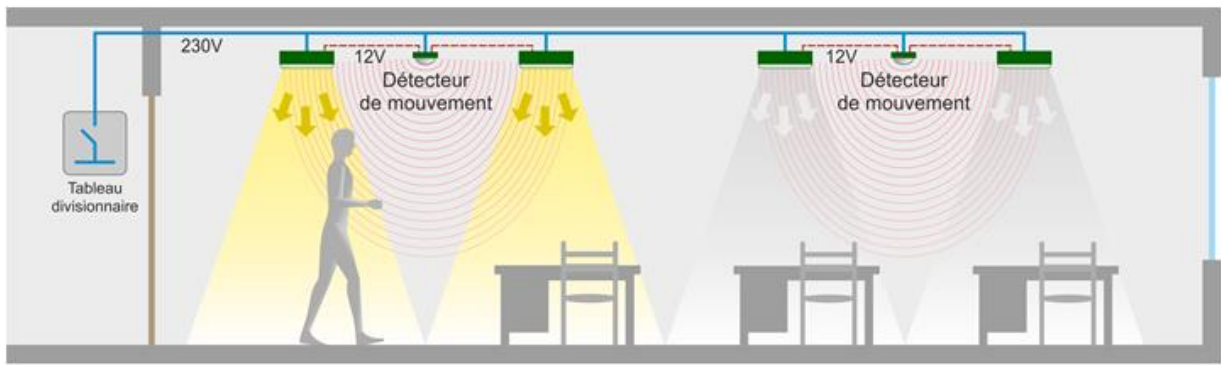


Figure III.11. Gestion par détecteurs de présence
Source : Energie plus ³⁹

Cas de store fermé, la lumière naturelle est insuffisante, le détecteur de présence s'actionne et le luminaire s'active.

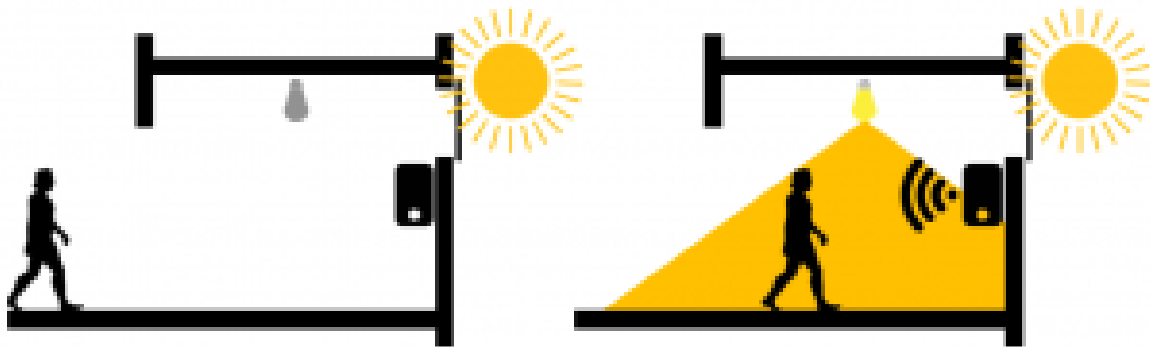


Figure III.12. Cas d'un store fermé avec détecteur de présence
Source : Energie plus ⁴⁰

Les technologies des détecteurs se distinguent entre :

- Détecteur à infrarouge (IR) : ils détectent le mouvement du corps humain par la mesure du rayonnement infrarouge (= chaleur) émise par le corps humain.
- Détecteurs ultrasoniques (US) : Les détecteurs sonores réagissent au bruit.
- Détecteurs à double technologie ou Détecteurs "intelligents" :

Les détecteurs de présence à infrarouges risquent de ne pas détecter les mouvements légers. Par contre des détecteurs à ultrasons peuvent être trop sensibles et risquent de déclencher l'allumage de l'éclairage lors du passage "d'une mouche". Pour éviter cet inconvénient tout en gardant une sensibilité importante, certains détecteurs, appelés "détecteurs à double technologie" combinent ultrasons et infrarouge.

³⁹ Energie plus, Choisir la gestion et la commande, <https://energieplus-lesite.be/concevoir/eclairage3/choisir-la-gestion-et-la-commande/>

⁴⁰Energie plus, Gestion en fonction de l'apport en éclairage naturel, <https://energieplus-lesite.be/techniques/eclairage10/commandes/gestion-en-fonction-de-l-apport-en-eclairage-naturel/>

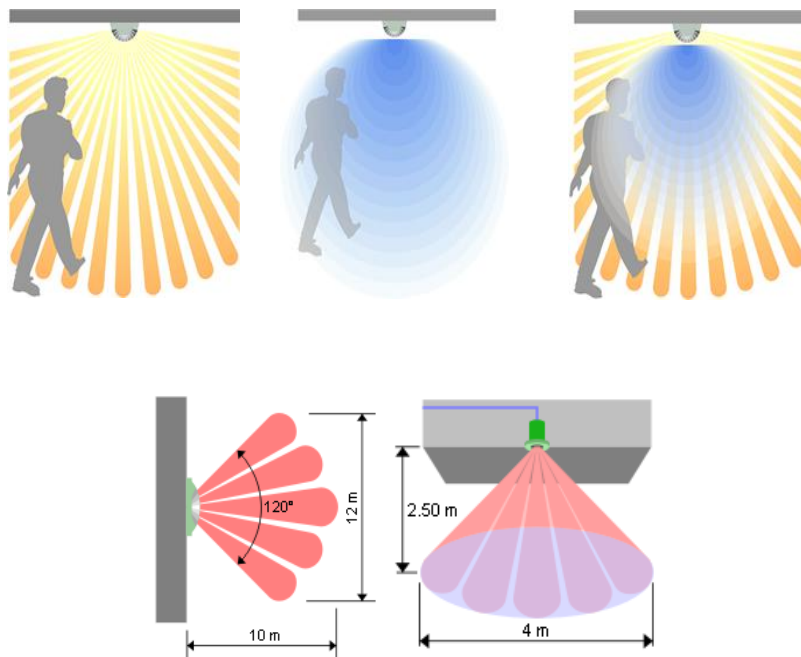


Figure III.13. Technologies des détecteurs de présence
Source : Energie plus⁴¹

V.4. Gestion centralisée de l'éclairage :

C'est une gestion globale. Elle peut être classique ou par bus de communication. :

- Gestion classique :

Une installation d'éclairage traditionnelle raccorde les luminaires et les commandes par un réseau de câbles défini une fois pour toutes.

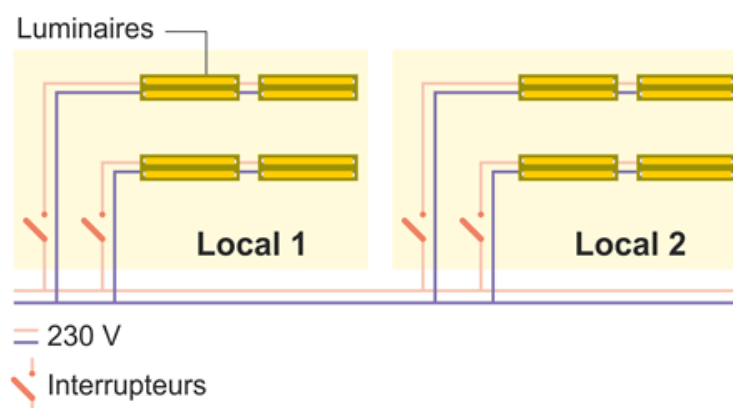


Figure III.14. Gestion classique
Source : Energie plus⁴²

⁴¹ Energie plus, Détecteurs de mouvement et de présence/absence, <https://energieplus-lesite.be/techniques/eclairage10/commandes/gestion-en-fonction-de-la-presence/detecteurs-de-mouvement-et-de-presence-absence/>

⁴² Energie plus, Choisir la gestion et la commande, <https://energieplus-lesite.be/concevoir/eclairage3/choisir-la-gestion-et-la-commande/>

- Gestion par bus de communication :

Tous les équipements sont connectés en parallèle sur un même bus de communication, chaque lampe, chaque interrupteur ayant une adresse informatique propre.

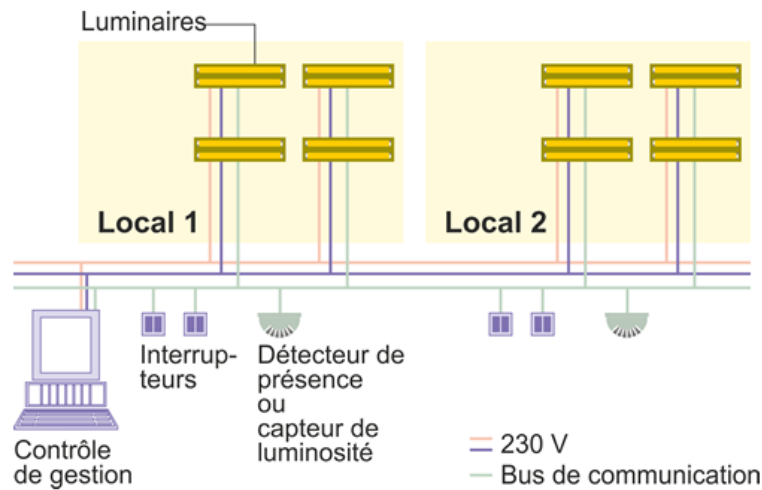


Figure III.15. Gestion par bus de communication
Source : Energie plus (Idem)

Il existe deux protocoles pour la gestion par BUS de communication

- Le protocole DALI :

DALI (Digital Addressable Lighting Interface) est un protocole de communication dédié exclusivement à la gestion d'éclairage.

DALI permet de gérer, commander et réguler numériquement une installation d'éclairage par l'intermédiaire d'un bus de communication deux fils communément appelé "ligne DALI".

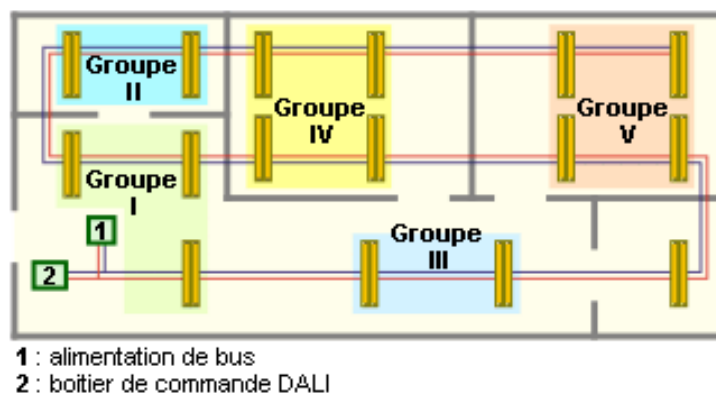


Figure III.16. Protocol DALI
Source : Energie plus⁴³

⁴³ Energie plus, Gestion centralisée de l'éclairage, <https://energieplus-lesite.be/techniques/eclairage10/commandes/gestion-centralisee-de-l-eclairage/>

- Le protocole KNX :

Il s'agit d'un protocole de communication commun à différents équipements tant au niveau de l'éclairage comme les boutons-poussoirs, les détecteurs de présence, ... qu'au niveau HVAC (Heating Ventilation, Air Conditioning) comme les vannes motorisées, les moteurs de protection solaire, ...

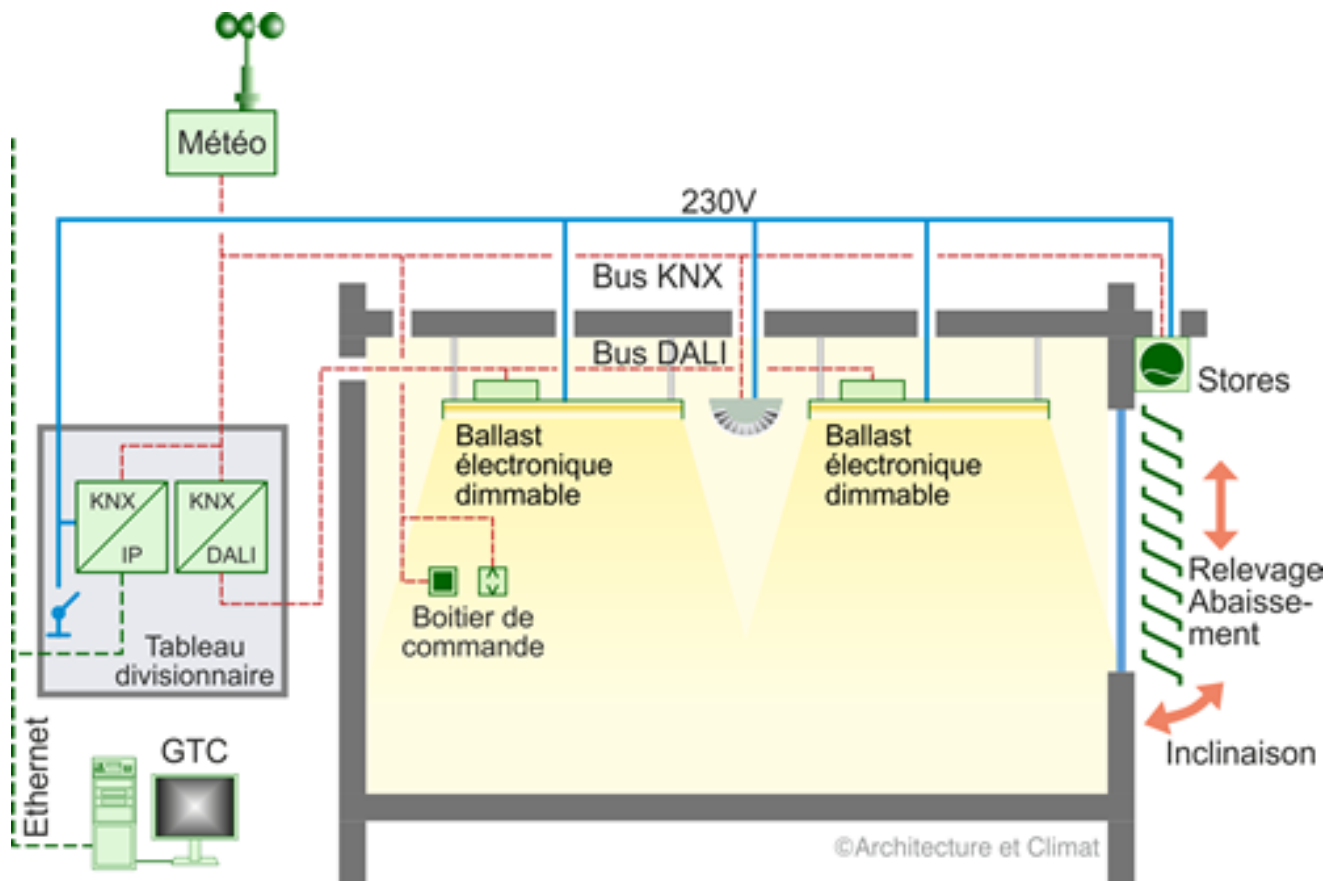


Figure III.17. Le protocole KNX
Source : Energie plus (Idem)

V.5. Gestion en fonction de l'apport en éclairage naturel :

Très souvent dans les zones proches des fenêtres, l'éclairage artificiel n'est nécessaire que le matin, le soir ou la nuit. En journée, l'éclairage naturel est suffisant pour assurer le confort visuel.

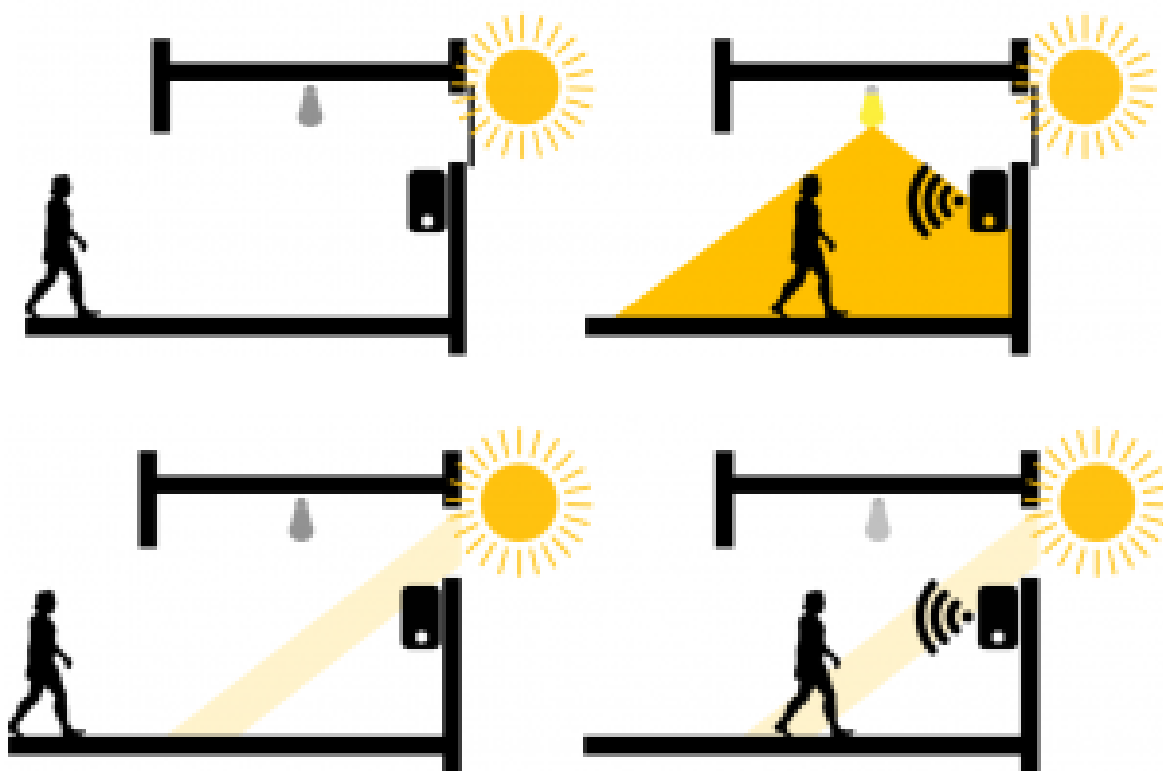


Figure III.18. Gestion en fonction de l'apport en éclairage naturel
Source : Energie plus⁴⁴

V.6. Zonage des commandes :

Le zonage consiste à répartir la distribution électrique et à regrouper les commandes en tenant compte :

- De la présence d'éclairage individuel : celui-ci retarde l'allumage de l'éclairage général.
- Des zones de même activité ou même période d'occupation : les appareils d'une même zone sont utilisés en fonction de l'occupation, indépendamment de la zone voisine.
- De l'éclairage naturel du local : les appareils "côté intérieur" (ou locaux aveugles) sont commandés séparément des appareils "côté vitrages", ces derniers étant enclenchés selon les besoins en complément de l'éclairage naturel.
- Des activités secondaires : pour les activités se déroulant en dehors des heures normales (nettoyage ou gardiennage), un éclairage réduit suffit souvent amplement.

⁴⁴ Energie plus, Gestion en fonction de l'apport en éclairage, <https://energieplus-lesite.be/techniques/eclairage10/commandes/gestion-en-fonction-de-l-apport-en-eclairage-naturel/>

Il existe deux technologies de zonage :

- Zonage classique :

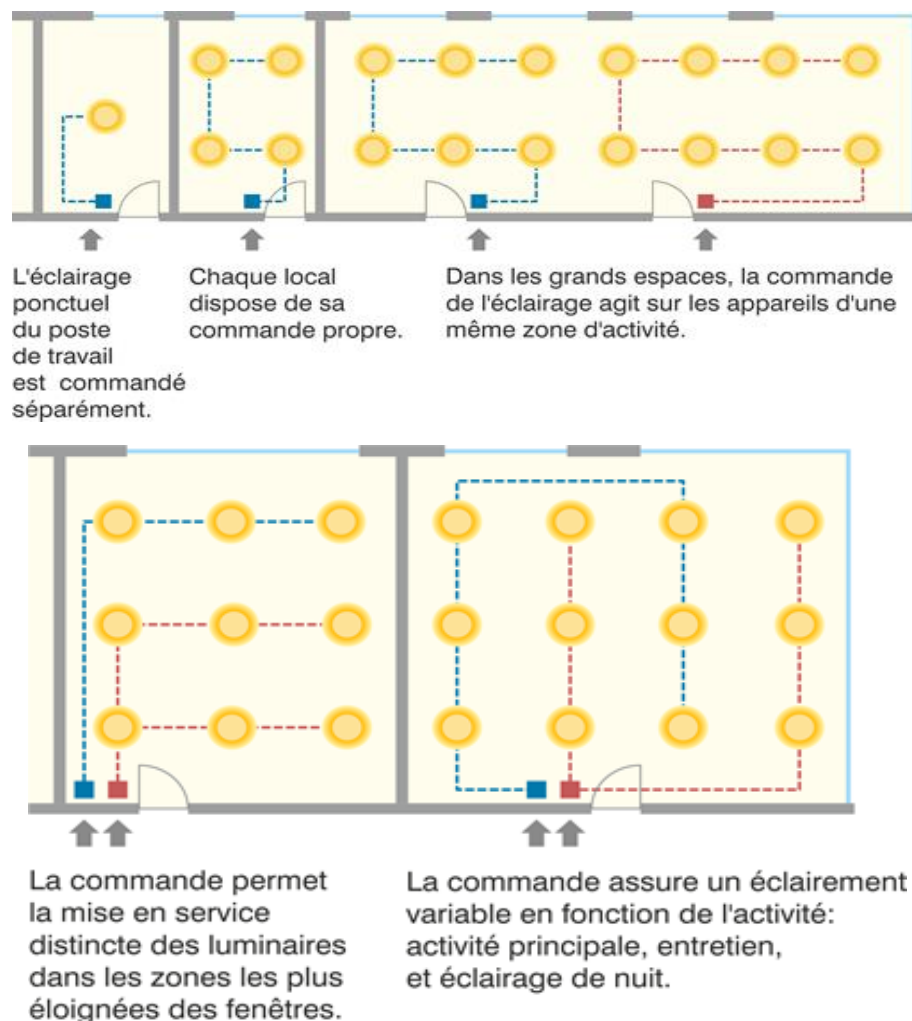


Figure III.19. Zonage classique

Source : Energie plus⁴⁵

- Zonage par programmation / par adressage dans le Smart Building :

Les nouvelles techniques de zonage, au travers de l'immatique, permettent de rendre un bâtiment de moyenne ou de grande importance plus flexible par rapport au changement de configuration des locaux.

Dans les smart building ou les bâtiments disposant d'immatique pour l'éclairage, la flexibilité est quasi-totale. Chaque sonde, chaque luminaire, chaque interrupteur est un objet (au sens informatique) pouvant être réassocié, reconfiguré en fonction des besoins.

⁴⁵ Energie plus, zonage des commandes, <https://energieplus-lesite.be/techniques/eclairage10/commandes/zonage-des-commandes/>

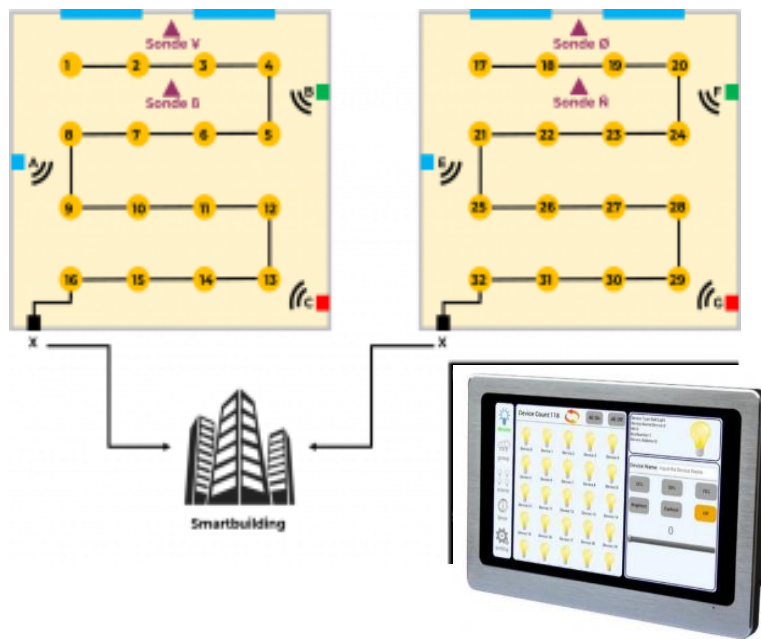


Figure III.20. Zonage par adressage
Source : Energie plus (Idem)

VI. Optimiser l'éclairage artificiel :

Optimiser l'éclairage artificiel est essentiel pour assurer le bon confort visuel des occupants, tout en économisant l'énergie (minimiser la consommation électrique).

Optimiser l'éclairage artificiel implique de⁴⁶ :

- Favoriser et valoriser en premier lieu la lumière naturelle (Limiter les besoins en éclairage artificiel)
- Choisir une installation adaptée aux besoins (choisir des systèmes efficaces)
- Prévoir une régulation permettant adaptée aux besoins (Réguler en fonction des besoins et utiliser d'une manière responsable)
- Définir les besoins en éclairage adaptés à l'usage des locaux

Un espace éclairé de façon optimale apporte du bien-être. Si l'éclairage n'est pas adapté ou correctement utilisé, il peut gâcher toute l'ambiance de l'espace.

Certains espaces méritent plus d'éclairage par rapport à d'autres, car selon les tâches visuelles, les occupants (enfants, adolescent ou adultes), et l'(les) ambiance (s) souhaitée (cosy, contemporaine, industrielle, apaisante,)" (s) l'éclairage change. On distingue de ce fait :

⁴⁶ Guide bâtiment durable, optimiser l'éclairage artificiel, 2013,
<https://www.guidebatimentdurable.brussels/optimiser-leclairage-artificiel>

- Un éclairage général :

Assuré par des suspensions, des lampadaires ou appliques. Ce type de luminaires donne un éclairage provenant du plafond, en offrant une grande surface d'illumination à la pièce et de manière uniforme.

- Un éclairage localisé :

Assuré par des lampes à poser, des spots ou appliques qui pourront être orientés. La lumière sera axée vers une zone précise et dédiée à une activité particulière.

- Un éclairage d'appoint :

C'est un complément d'une autre source d'éclairage. Il aura plus un rôle décoratif et mettra en valeur un objet. Il s'agit ici de lampes de bureau, de chevet mais aussi les spots ou les lampadaires.

VII.. Comment bien penser l'éclairage :

VII.1. Éclairage intérieur (exemple d'une maison) :

Bien éclairer son intérieur est tout aussi important que l'aménager et le décorer :

- Participe à l'ambiance générale d'une pièce,
- Permet de mettre en valeur certains éléments,
- Garantit le confort dans les espaces dotés d'un plan de travail.

Le choix de l'éclairage est en fonction de l'usage des pièces dans lesquelles il est placé : Pièces de passage de détente ou au contraire d'activités, à chacune son éclairage approprié. Les besoins ainsi que l'ambiance recherchée orientent obligatoirement le choix d'un éclairage plutôt direct, indirect, mixte, fonctionnel, ...

a. La cuisine :

Les tâches et les besoins en lumière dans la cuisine sont divers : la zone de préparation des repas nécessite un niveau d'éclairement important (éclairage de la tâche), alors qu'un éclairage d'ambiance peut être suffisant pour le reste de la pièce.

- Éclairage général et éclairage d'ambiance :

L'éclairage général de la cuisine devra être relativement bien réparti et assurer un éclairement approchant les 200 à 300 lux à la hauteur du plan de travail. Ceci permet d'éviter de trop forts contrastes entre ce dernier et le reste de la pièce. Parmi les luminaires envisageables : les lustres et luminaires suspendus, les plafonniers, les réglettes linéaires au-dessus des armoires (créent un éclairage indirect de la pièce) et les Downlights encastrés (apporte une lumière relativement dirigée).

- Éclairage du plan de travail :

L'éclairage du plan de travail doit être relativement important afin de permettre des tâches assez précises et parfois dangereuses (manipulation de couteaux, etc.). Un éclairement d'environ 300 à 500 lux est ainsi recommandé. Afin d'éviter que la personne qui se tient devant le plan de travail ne soit gênée par sa propre ombre.

Parmi les luminaires envisageables : les réglottes linéaires et les spots placés sous les armoires sont les plus intéressants.

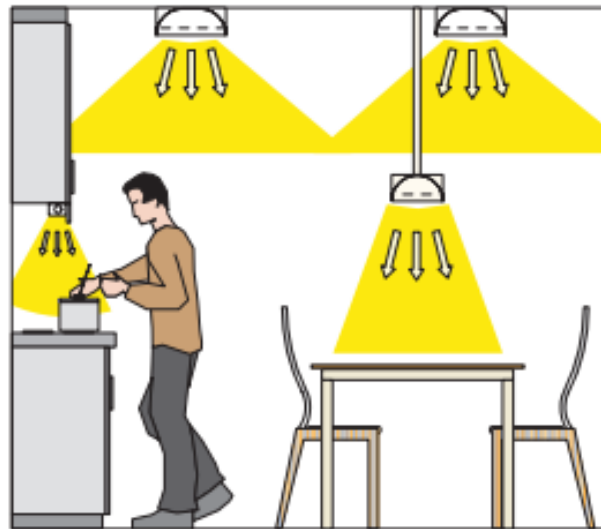


Figure III.21. Emplacement des luminaires dans une cuisine
Source : Centre Scientifique et Technique de la Construction ⁴⁷

Quelques recommandations (voir figure.III.22) :

- A. Une suspension se trouvant au dos de celui ou de celle qui travaille, crée une zone d'ombre sur le plan de travail.
- A1. Un éclairage sous-haut assure une excellente visibilité sur le plan de travail.
- B - Un éclairage diffus au-dessus de la table peut gêner, notamment si l'ampoule n'est pas blindée.
- B1. Il est préférable de choisir une suspension avec abat-jour qui, non seulement, crée une chaude atmosphère, mais qui diffuse également une lumière avec un faisceau directionnel n'éblouissant pas celui ou celle qui est assis/e.
- La suspension doit se trouver à 55-60 cm du plateau de table.
- C. L'intérieur des meubles de cuisine devrait être bien éclairé, mais souvent il est sombre.
- C1. Et en particulier, l'intérieur du sous-évier peut être éclairé avec un éclairage fluorescent.

⁴⁷Deneyer A., D'Herdt P., Deroisy B., Roisin B., Bodart M., Deltour J., Centre Scientifique et Technique de la Construction, Guide pratique et technique de l'éclairage résidentiel, 2011, https://www.buildwise.be/umbraco/surface/publicationitem/downloadfile?file=31400/fr/unprotected/guide_pratique_et_technique_de_l_eclairage_residentiel.pdf

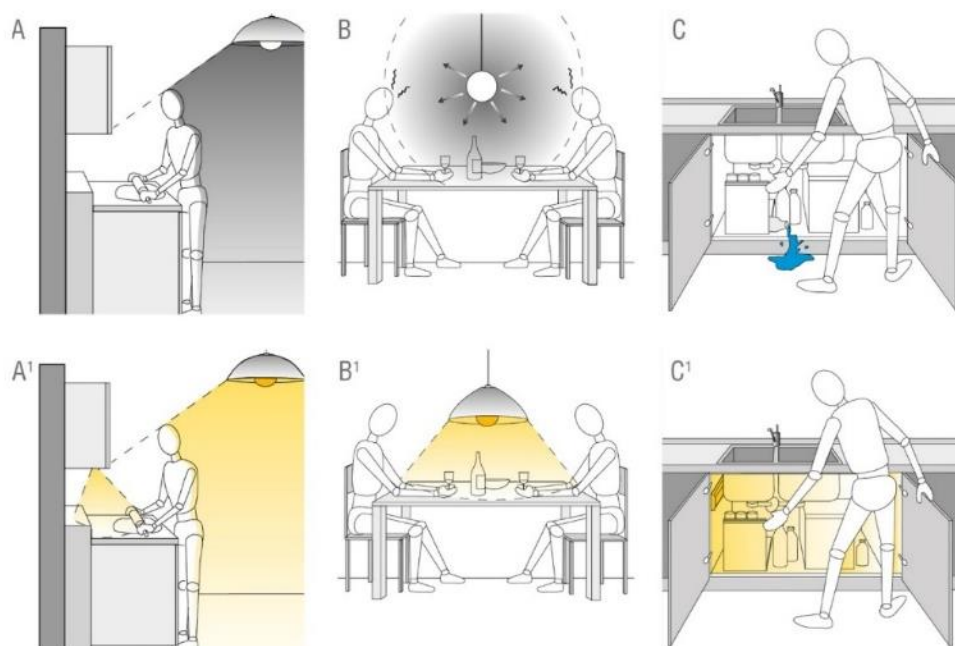


Figure III.22. Quelques recommandations pour un bon éclairage en cuisine
Source : Valcucine⁴⁸

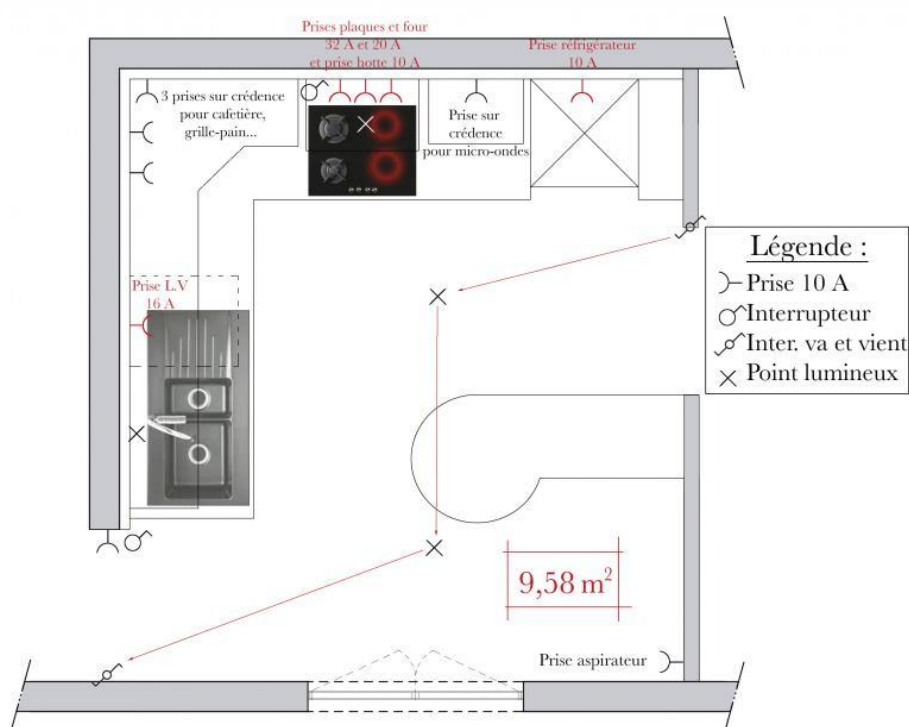


Figure III.23. Exemple d'une installation électrique dans une cuisine
Source : Angélique Blanc⁴⁹

⁴⁸ Valcucine, L'éclairage artificiel de la cuisine, <https://www.valcucine.com/fr/plans/lumiere/eclairage-artificiel-dans-la-cuisine/>

⁴⁹ Angélique B., Conseils d'architecte : les règles de confort et de sécurité au niveau électrique, https://www.deco.fr/photos/diaporama-electricite-regles-securite-confort-cuisine-salle-de-bains-salon-chambre-d_4272

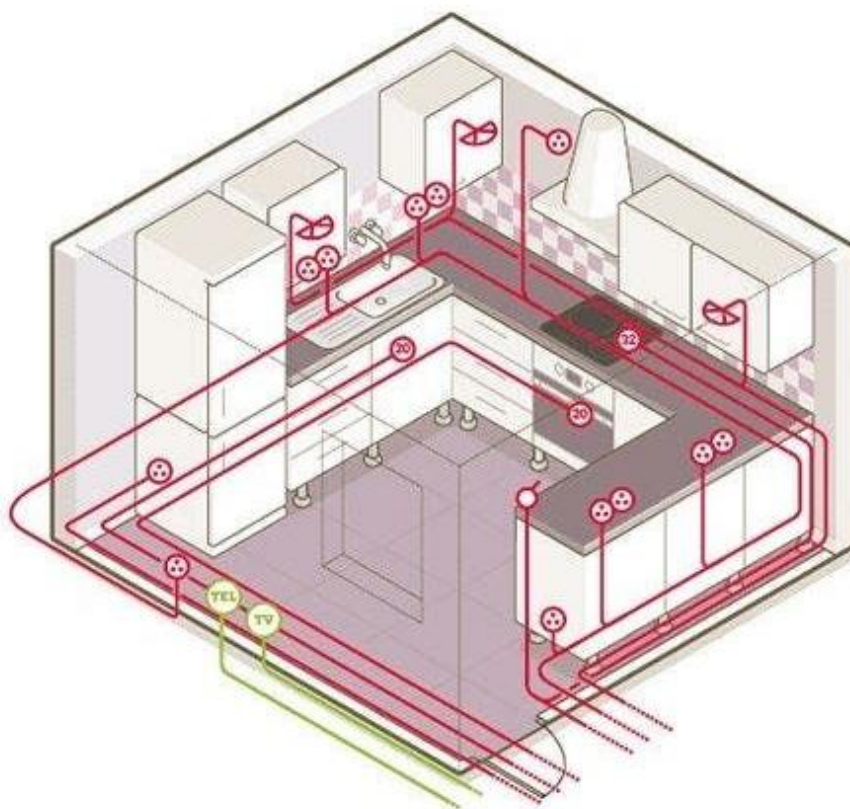
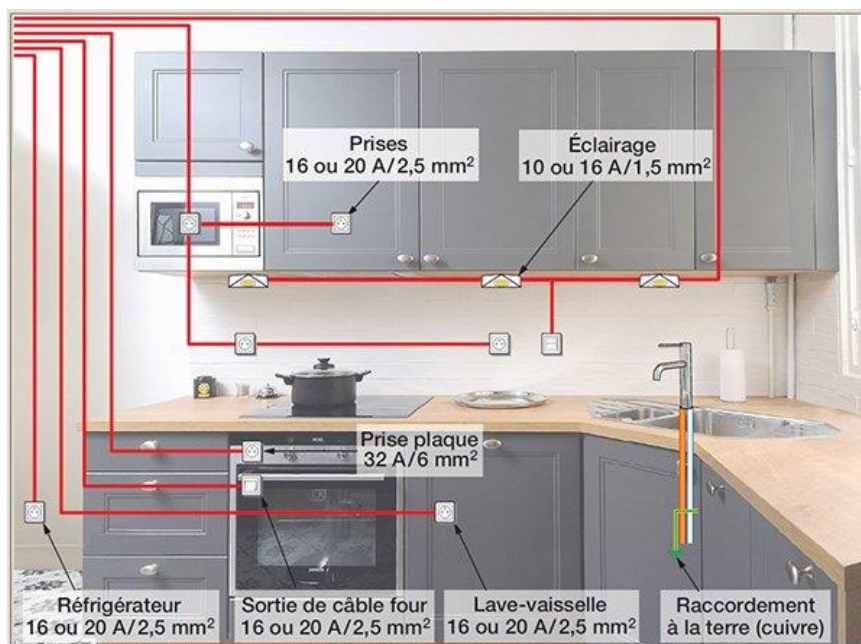


Figure III.24. Schéma électrique d'une cuisine
 Source: leroymerlin.fr, MonEnergie by systeme D⁵⁰

⁵⁰ leroymerlin.fr, <https://www.pinterest.fr/pin/612419249362572974/>
 MonEnergie by systeme D, Comment rénover le réseau électrique d'une cuisine ?
<https://www.systemed.fr/electricite/renover-reseau-electrique-cuisine,4987.html>

b. La salle à manger :

- Éclairage général et éclairage d'ambiance :

Outre l'éclairage de la table, il est nécessaire d'assurer un bon éclairage d'ambiance, sous peine de créer de fortes ombres et de plonger la table dans un environnement sombre. Un éclairage de 100 à 150 lux est largement suffisant comme éclairage d'ambiance

- Éclairage de la table :

L'éclairage recommandé est de veiller à ce que la lumière ne soit pas trop forte et à placer le luminaire choisi à bonne hauteur (de 1,7 à 1,8 m par rapport au sol). Trop bas, vous risquez d'être ébloui ; trop haut, il n'éclaire pas suffisamment la table. Il existe toutefois des solutions permettant d'adapter la hauteur du luminaire (système de câbles réglables, etc.). La table doit bénéficier d'un éclairage moyen horizontal de 150 à 200 lux. Il est possible d'envisager :

Luminaires suspendus, des plafonniers appliqués au plafond réglettes linéaires en bandeau, ou des Downlights. Le luminaire peut devenir une pièce maîtresse de la décoration.



Figure III.25. Éclairage artificiel dans une salle à manger

Source: Cyndy Aldred⁵¹

⁵¹ Aldred C., 2018 Utah Valley Parade of Homes Recap, The creativity exchange, 2018, <https://www.thecreativityexchange.com/2018/06/2018-utah-valley-parade-of-homes-recap.html>

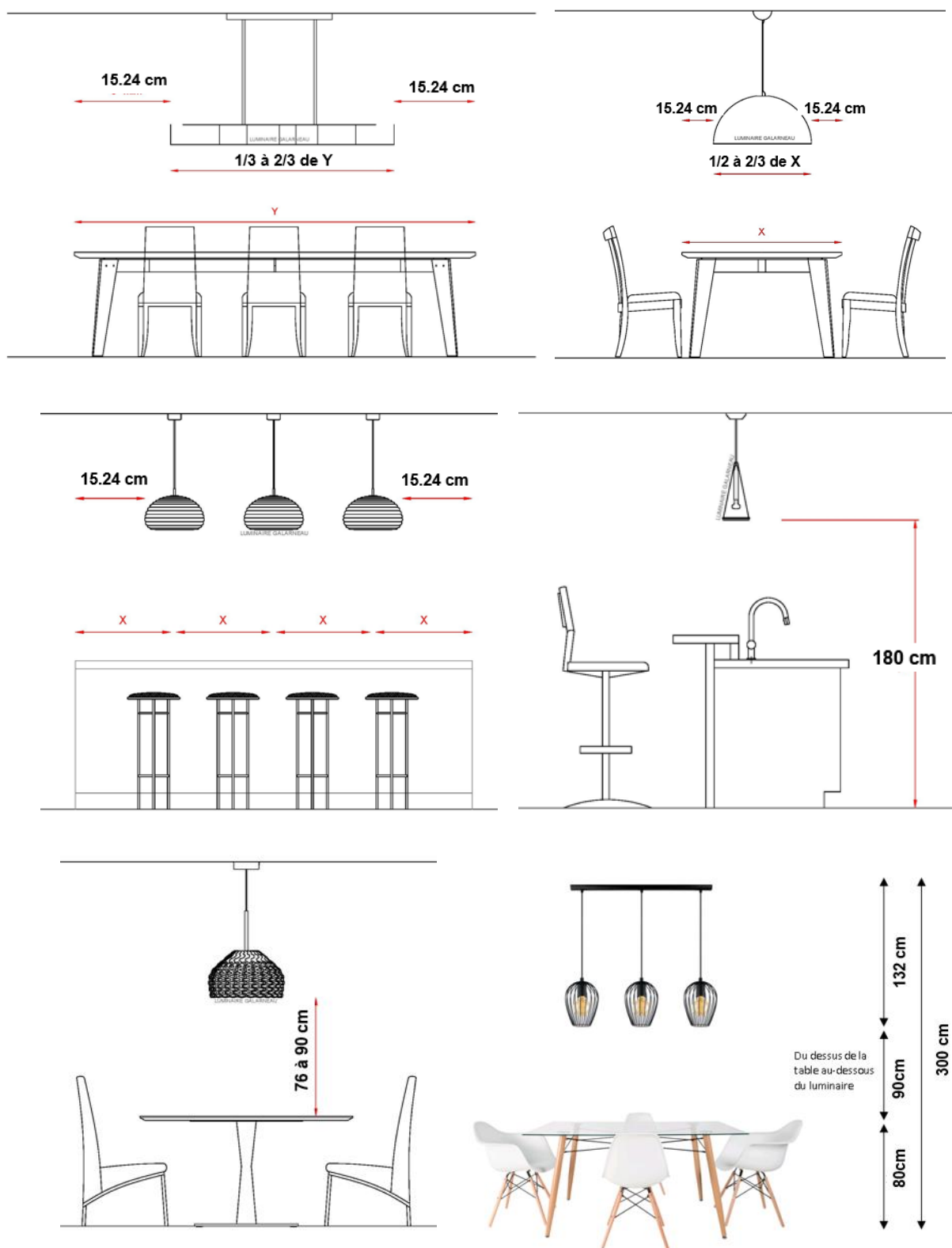


Figure III.26. Lumières en cuisine : hauteurs et tailles
Source : Expo Habitat Mauricie⁵²

⁵² Expo Habitat Mauricie, Luminaires et cuisine : hauteur et taille, 2021
<https://expohabitatmauricie.com/blogue/luminaires-et-cuisine-hauteur-et-taille/>

c. Le séjour :

Dans la pièce de vie, Il faut plutôt penser au confort visuel et multiplier les éclairages d'ambiance. Ainsi, en plus d'une suspension, il peut être intéressant de fixer des appliques aux murs qui auront tendance à faire ressortir la couleur de ceux-ci, s'ils sont peints. Installer un lampadaire participe à l'éclairage général mais apporte surtout une touche déco pour l'ambiance. Quant aux lampes à poser, elles créent des points lumineux complémentaires. Les besoins en lumière dans un séjour sont très variables (de 20 à 400 lux).



Figure III.27. Éclairage artificiel dans le séjour
Source : Guide-pratique⁵³

⁵³ Guide-pratique, Concevoir un éclairage d'ambiance,
https://www.vraimentbeau.com/vb_blog/guide-pratique/conception-generale-eclairage-choix-luminaires/

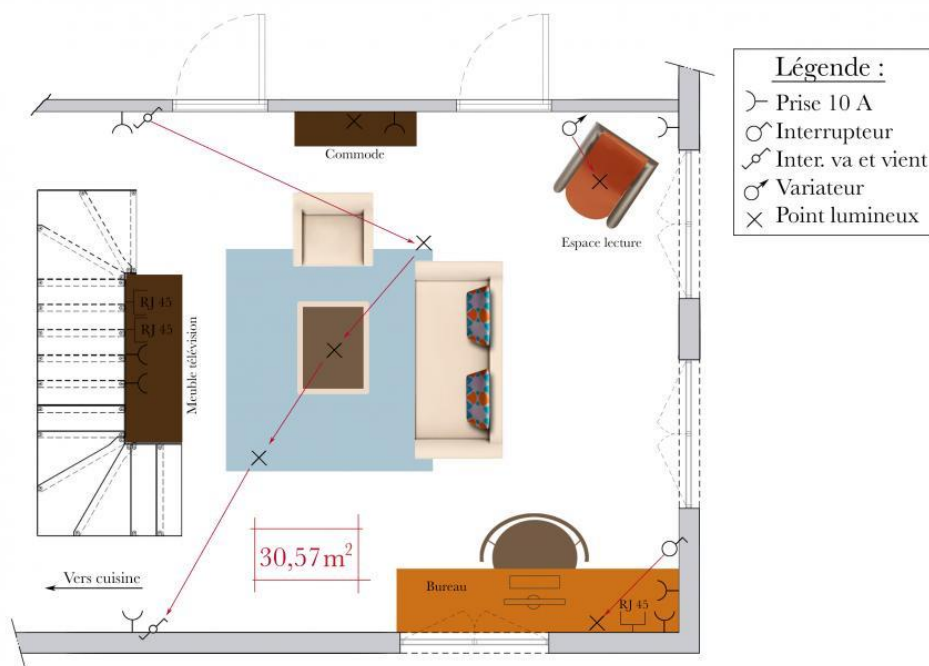


Figure III.28. Exemple d'une installation électrique d'un séjour
Source : Angélique Blanc⁵⁴

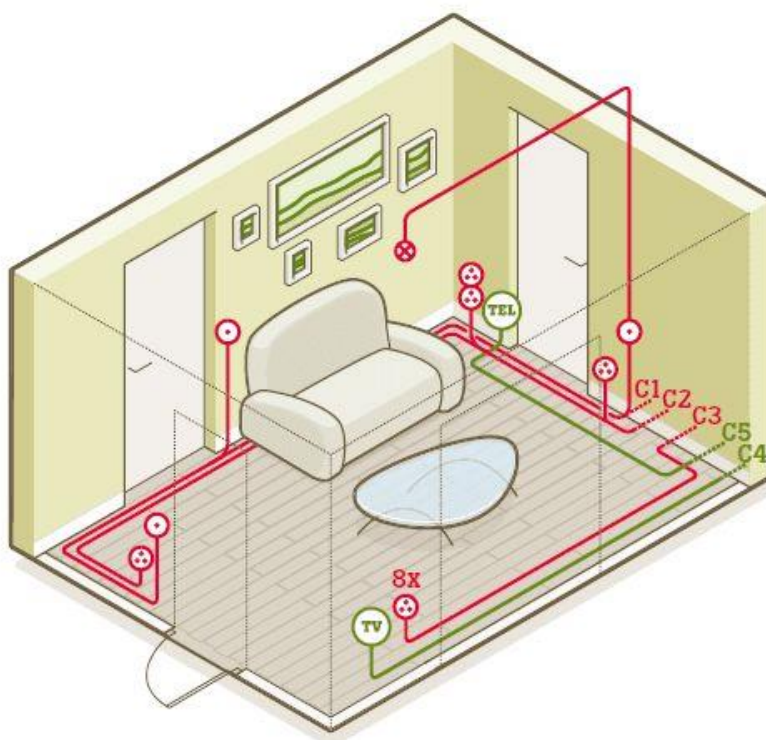


Figure III.29. Schéma électrique d'un séjour
Source : leroymerlin.fr⁵⁵

⁵⁴ Angélique B., Conseils d'architecte : les règles de confort et de sécurité au niveau électrique, https://www.deco.fr/photos/diaporama-electricite-regles-securite-confort-cuisine-salle-de-bains-salon-chambre-d_4272

⁵⁵ leroymerlin.fr, <https://www.pinterest.fr/pin/1027313364975943385/>

d. La salle de bains et les toilettes :

Le travail de l'éclairage dans la salle de bain requiert un soin particulier. La particularité de l'éclairage des salles de bains réside dans le haut degré de protection vis-à-vis de l'eau que doivent assurer les luminaires. Il faut aussi distinguer deux applications séparées : l'éclairage général et l'éclairage du miroir qu'il est intéressant de contrôler indépendamment

Pour assurer la sécurité dans la salle de bain, l'espace a été réparti en 4 volumes différents : 0, 1, 2 et 3. Dans chacun de ces volumes, certains équipements électriques sont autorisés ou interdits (voir la figure.49)⁵⁶.

- Volume 0 : dans la baignoire ou le receveur, aucun luminaire.
- Volume 1 : au-dessus de la baignoire ou du receveur jusqu'à 2,25 m de hauteur.

Sont autorisés les luminaires de classe 3 alimentés en TBT 12 V et les chauffe-eaux électriques à accumulation

- Volume 2 : espace de 60 cm autour de la baignoire ou de la douche, jusqu'à 2,25 m de haut.

Appareils de chauffage, luminaire de classe 2, chauffe-eaux électriques à accumulation de classe 1.

- Volume 3 : jusqu'à 2,40 m des limites du volume 2 et 75 cm au-dessus des volumes 1 et 2.

Appareillage de classe 1 ou 2, protégé par un dispositif différentiel haute sensibilité

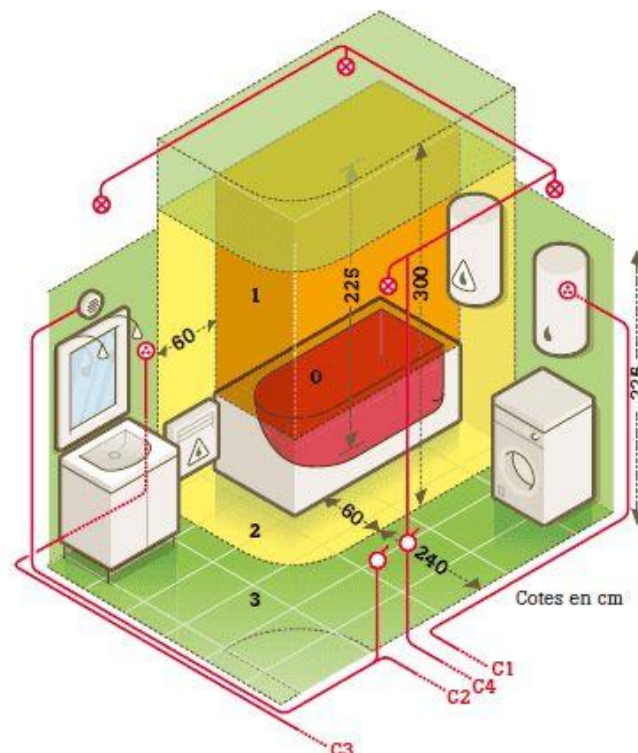


Figure III.30. Normes d'Éclairage artificiel dans la salle de bain
Source : leroymerlin.fr⁵⁷

⁵⁶ Guedj M., "Électricité", Hachette, 2010, p 84-85

⁵⁷ leroymerlin.fr, <https://www.pinterest.fr/pin/1070097561434590641/>

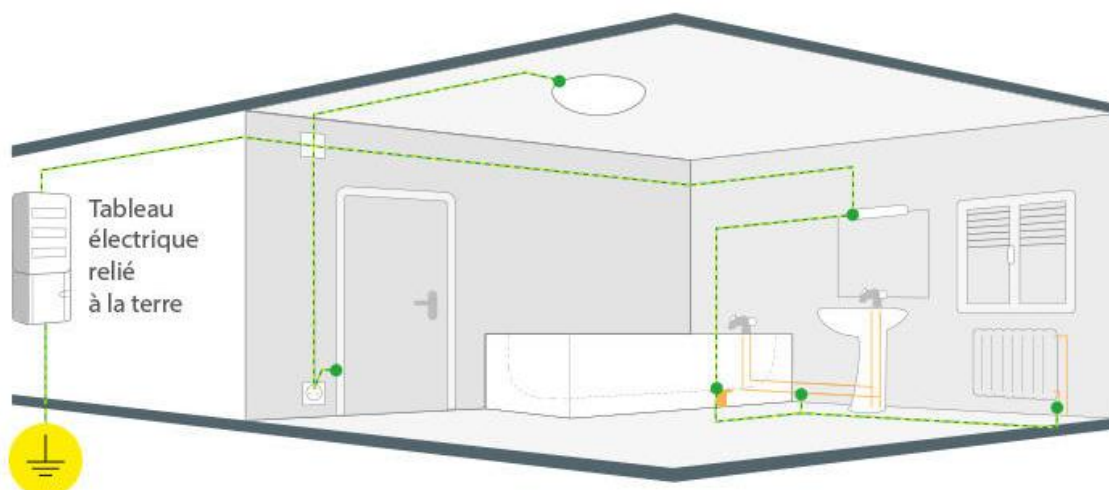


Figure III.31. Normes d'Éclairage artificiel dans la salle de bain
Source : Legrand⁵⁸

e. La chambre :

Traiter l'éclairage de la chambre nécessite d'envisager séparément la chambre d'adulte de la chambre d'enfant, qui a un caractère plus multifonctionnel car elle abrite les activités de jeu, de travail et de repos. Comme précédemment, nous distinguerons l'éclairage de la tâche et l'éclairage général. Dans la chambre d'enfant, on distingue généralement une zone de lecture et de bureau où un éclairement de 200 à 300 lux (parfois même de 500 lux) est requis.

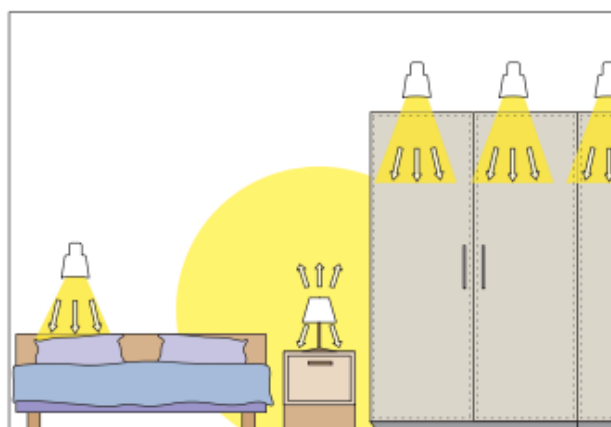


Figure III.32. Éclairage artificiel dans une chambre
Source : Centre Scientifique et Technique de la Construction⁵⁹

⁵⁸ Legrand, <https://www.legrand.fr/actualites/nf-c-15-100-ce-qu'il-faut-savoir-pour-l'installation-electrique-d'une-salle-de-bains>

⁵⁹ Deneyer A., D'Herdt P., Deroisy B., Roisin B., Bodart M., Deltour J., Centre Scientifique et Technique de la Construction, Guide pratique et technique de l'éclairage résidentiel, 2011, https://www.buildwise.be/umbraco/surface/publicationitem/downloadfile?file=31400/fr/unprotected/guide_pratique_et_technique_de_l_eclairage_residentiel.pdf

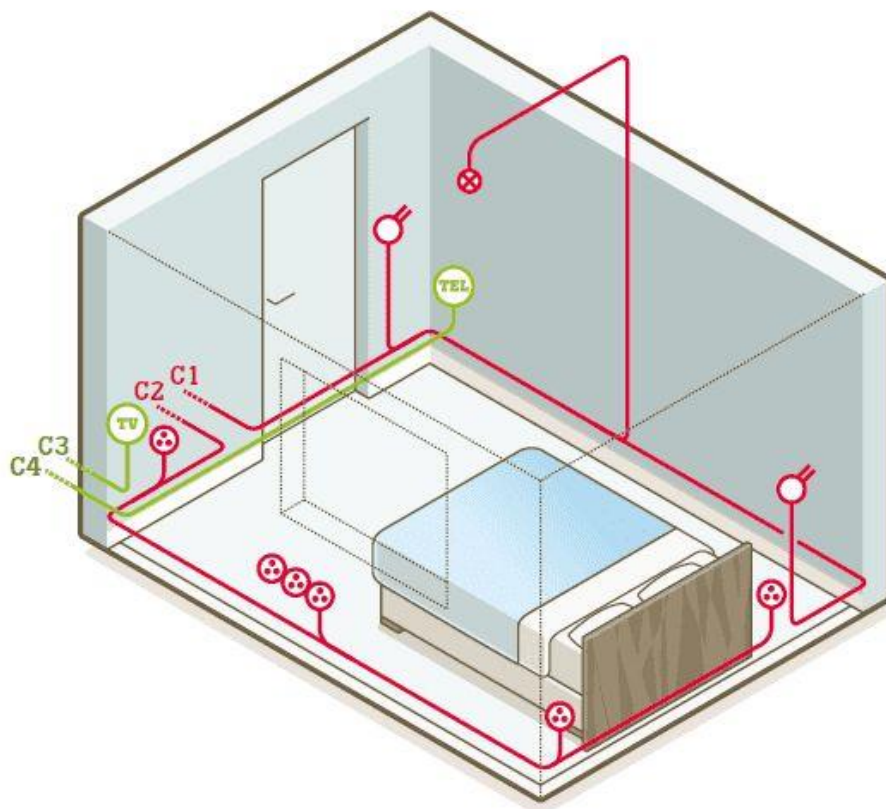


Figure III.33. Schéma électrique d'un séjour
Source : leroymerlin.fr⁶⁰

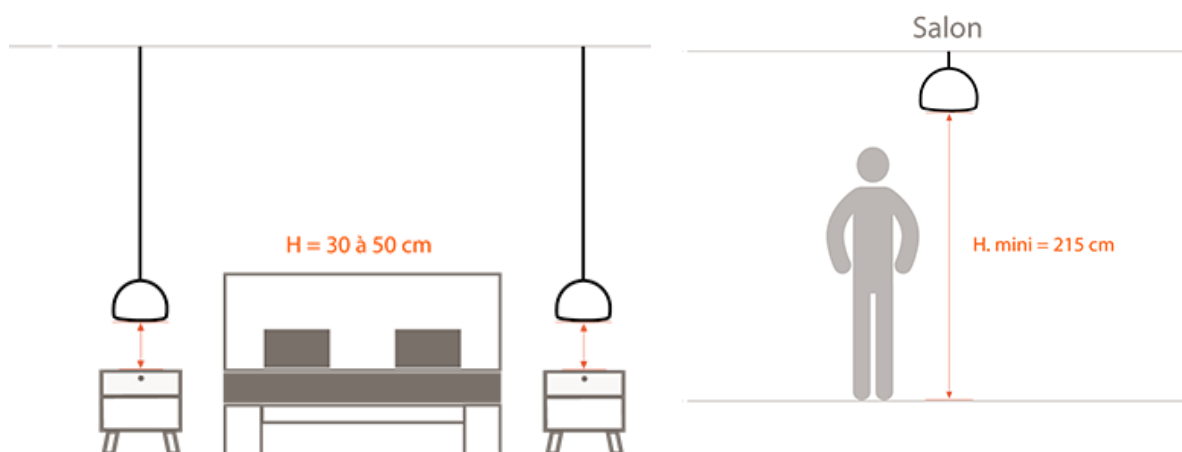


Figure III.34. Hauteurs des suspensions
Source : blog.paris-prix⁶¹

⁶⁰ leroymerlin.fr, <https://www.pinterest.fr/pin/552042866835343412/>

⁶¹ blog.paris-prix, Suspensions | Comment bien choisir sa suspension ? , 2018, <https://blog.paris-prix.com/nos-univers/illuminez-votre-interieur/suspensions-comment-bien-choisir-sa-suspension>

f. Hall d'entrée, couloirs, escaliers :

Le hall d'entrée, les escaliers ainsi que les pièces de circulation requièrent un bon éclairage au niveau du sol afin d'assurer le déplacement en toute sécurité. Un éclairage au droit du sol de 50 à 100 lux pour les couloirs et de 75 à 150 lux pour les escaliers est conseillé. L'éclairage peut se faire via des plafonniers, des Downlights, des appliques murales ou une combinaison de ces trois luminaires.

Il faut éviter toutefois de placer des down lights en haut des escaliers afin de ne pas éblouir les personnes qui les empruntent.

Lorsque les plafonds sont élevés, il est possible d'opter pour des plafonniers suspendus (plutôt pour les couloirs que pour les escaliers) à une hauteur minimum de 2 à 2,5 m.

L'objectif principal de base de l'éclairage des escaliers est d'assurer un contraste suffisant entre les marches pour éviter tout accident. Pour cela, il faut assurer l'éclairage des marches et maintenir dans l'ombre les contre-marches.



Figure III.35. Points lumineux pour les escaliers
Source : Céline Martineau ⁶²

⁶² Martineau C., Éclairage escalier led – 30 idées modernes et originales, Deavita, 2015, <https://deavita.fr/design-interieur/eclairage-escalier-led-idees-modernes/>

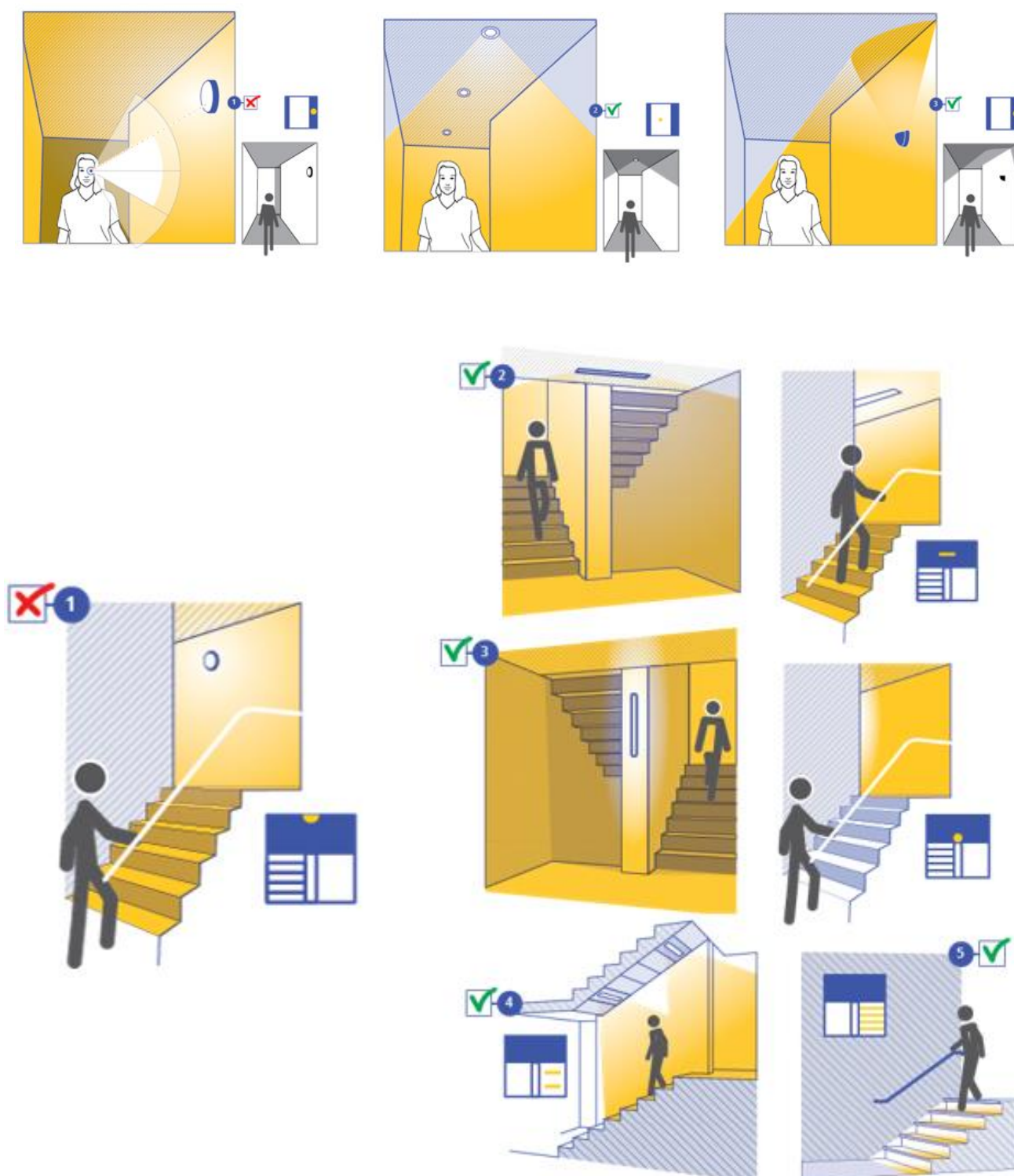


Figure III.36. Recommandations pour un bon éclairage dans le hall d'entrée et les escaliers
Source : Guide de l'éclairage⁶³

⁶³ Guide de l'éclairage, Vision : applications pratiques, 2022, <https://leclairage.fr/vision-applications-pratiques/>

VII.2. Éclairage extérieur :

a. Types d'éclairage extérieur :

Un éclairage extérieur permet de rendre plus pratique la vie nocturne. L'éclairage artificiel extérieur est multifonctionnel :

- Éclairage public de sécurité et d'orientation (éclairage routier, trottoirs, pistes cyclables, parkings, terrains de sport, éclairage des parcs et jardins...). Afin d'éviter les chutes ou les cambriolages. (L'acuité visuelle diminue avec l'âge, et même en totale connaissance des lieux, sans lumière adaptée, la chute peut être inévitable, voire dramatique). Baliser une allée, un chemin, délimiter un endroit comme les abords d'une piscine, d'une pergola, d'un coin repas ou de détente permet d'orienter les utilisateurs.

- Éclairage commercial (enseignes et devantures des commerces, zones d'activités, zones commerciales) : le but est de mettre en avant les articles.

- Éclairage décoratif : Il contribue à embellir les extérieurs et à les rendre plus accueillants et conviviaux. Il peut devenir une véritable attraction lumineuse et un moyen d'éclairer certains endroits particuliers. Par exemple :

- Mettre en avant un bel arbre,
- Valoriser un massif de fleur
- Magnifier la belle pierre d'un mur.
- Mettre en avant un évènement

- Éclairage architectural :

L'éclairage architectural vise à révéler la forme réelle d'un édifice et à établir un lien entre la structure et le paysage. Il permet de créer ainsi une identité propre tout en respectant le cadre de vie des résidents.

L'éclairage architectural se divise en trois grandes catégories :

- L'éclairage historique : édifices et sculptures présentant un intérêt culturel
- L'éclairage contemporain : architecture commerciale et industrielle
- L'éclairage d'ambiance : places principales, jardins d'agrément, parcs paysagés, et centres commerciaux.

Ces trois catégories ont dans l'ensemble des objectifs communs de conception lumineuse : esthétique, performance et sécurité. L'éclairage doit permettre de :

- Optimiser l'image de marque,
- Faire ressortir la beauté architecturale
- Inviter les gens à explorer ces lieux en toute sérénité.

Lorsque l'on traduit ces objectifs en critères d'éclairage, il faut prendre en considération plusieurs éléments : Les volumes, les formes, les détails à éclairer. La quantité de lumière doit donc être adaptée en conséquence.

En effet, lorsqu'il s'agit d'éclairage historique, l'objectif est la mise en lumière du patrimoine pour donner une identité visuelle particulière aux villes historiques.

- Lumière architectonique pour mettre l'architecture en valeur :
 - Une bonne température de couleur souligne les matériaux et les caractéristiques
 - Un éclairage vertical uniforme accentue les surfaces de la façade sans modifier l'architecture
 - Un éclairage d'accentuation précis fait ressortir les particularités architectoniques

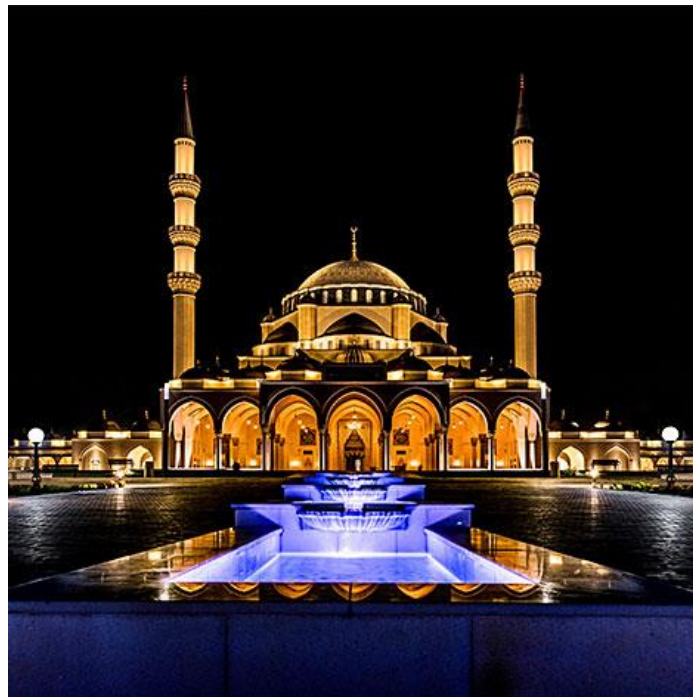


Figure III.37. Lumière pour la mise en valeur de l'architecture
Source : Linea Light Group⁶⁴

- Lumière architectonique pour Structurer l'architecture :
 - Une bonne température de couleur souligne les matériaux et les caractéristiques
 - Un éclairage vertical uniforme accentue les surfaces de la façade sans modifier l'architecture
 - Un éclairage d'accentuation précis fait ressortir les particularités architectoniques

⁶⁴ Linea Light Group, La lumière crée l'atmosphère, Office et culture, 2020, <https://www.office-et-culture.fr/produits/lumiere/la-lumiere-cree-latmosphere>



Figure III.38. Mise en lumière pour structurer
Source : leseclaireurs⁶⁵

- Lumière émotionnelle pour générer l'attention :
 - Une lumière colorée éveille des émotions
 - Des variations dynamiques de la lumière ont un grand effet à distance et attirent les passants
 - Les concepts d'éclairage émotionnels rendent l'architecture vivante



Figure III.39. Mise en lumière pour générer l'attention
Source : Wikipédia⁶⁶

⁶⁵ leseclaireurs, la Grande Poste d'Alger, 2019, <https://www.leseclaireurs.net/realisations/la-grande-poste-alger>

⁶⁶ Wikipedia,
https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Fichier:Torre_Agbar_illumin%C3%A9_par_Yann_Kersal%C3%A9.jpg

- Lumière émotionnelle pour modifier l'architecture :
 - Des structures lumineuses transforment une architecture neutre en une façade attrayante
 - La lumière peut embellir l'architecture
 - Les structures lumineuses forment de motifs, avec la couleur, elles créent une œuvre d'art



Figure III.40. *Mise en lumière pour modifier l'architecture*
 Source : Zumtobel⁶⁷

Un bon éclairage extérieur ne doit pas tout illuminer, bien au contraire. Le fait de garder des zones d'ombres est important afin de créer un environnement équilibré.

Généralement, l'éclairage utilisé peut-être soit indirect, soit diffusé, et a principalement deux objectifs. L'un est fonctionnel et l'autre est décoratif.

⁶⁷ Zumtobel, La lumière pour les façades et l'architecture,
https://www.zumtobel.com/PDB/teaser/FR/AWB_Fassade_und_Architektur.pdf

b. Les différents types de luminaires d'extérieurs et leurs utilisations :

- Applique d'extérieur :

C'est le moyen idéal pour mettre en valeur et à la fois éclairer une terrasse ou les abords de la maison.

Les appliques sont fixées sur les murs extérieurs de la maison, et leur lumière peut être directe ou indirecte.

- Lampe à poser d'extérieur :

Disposez une ou plusieurs lampes à poser dans un extérieur procure une lumière douce, diffuse...Ambiance cosy

- Suspension d'extérieur :

Fixe ou mobile, la suspension peut être une solution intéressante pour éclairer les extérieurs.

Fixée directement sur la structure, la suspension extérieure offre une lumière directe ou diffuse et garantit un éclairage suffisant.

- Plafonnier d'extérieur :

Le plafonnier se fixe sur une structure fixe et rigide. Procurant une lumière moins directe qu'une suspension, il offre toute de même un éclairage diffus.

- Hublot d'extérieur :

Le hublot peut entrer dans la grande famille des appliques. Ce qui le différencie, c'est qu'il est complètement fermé, offrant donc une lumière diffuse, moins directe qu'une applique.

Le hublot peut être installé au-dessus d'une porte, le long d'un passage ou d'une allée, etc.,

- Lampadaire de jardin :

Le lampadaire est une lampe à poser de grande taille et de forte puissance.

L'éclairage est direct, fixe, et utile hiver comme été.

- Borne lumineuse d'extérieur :

Réservée au marquage d'allée, de passage, de voie d'accès ou encore pour délimiter une partie du terrain, la borne lumineuse est avant tout un éclairage fonctionnel avec une esthétique soignée.

Souvent de faible puissance, sa luminosité douce et diffuse sert à mettre en valeur et à repérer un endroit précis des abords d'allée et de jardin. Sur pied ou à même le sol, l'idéal est de multiplier les bornes tout au long du tracé que vous voulez marquer.

- Projecteur d'extérieur :

Si vous avez besoin d'un éclairage puissant et localisé (une cour, une entrée, une terrasse, etc.), il faut s'équiper d'un projecteur. Toutefois, il en existe une multitude, aux puissances, aux technologies et aux designs variés. Aujourd'hui, la technologie la plus performante est le projecteur à LED, à la fois puissant et économe en énergie.

- Spot à encastrer :

Les spots encastrés orientable ou non, ne sont pas là pour éclairer proprement dit, ils contribuent à donner une ambiance, indiquer un escalier ou une marche ou encore délimiter une terrasse. Ils peuvent

être mis en place n'importe où (à condition de les alimenter) et dans beaucoup de matériaux différents (bois, béton, etc.).

- Lampe solaire

Est le plus souvent munie d'une batterie qui se charge grâce à quelques cellules photovoltaïques. A la nuit tombée, une varistance (pour faire simple, un genre de détecteur de lumière) allume la lampe.

De faible puissance car limitée par les caractéristiques de la batterie, la lampe solaire est avant tout une lumière d'agrément ou d'ambiance. Elle peut également faire office de borne lumineuse le long d'une allée, d'un passage ou au pied d'un arbuste ou d'un massif floral.

	Applique	Lampe à poser	Lampadaire	Projecteur	Borne	Spot
Terrasse	**	***	***	***	*	*
Chemin	*	*	**	*	***	*
Jardin	*	*	*	**	***	*
Cour	*	*	*	***	*	*
Façade	***	*	*	***	*	***

Figure III.41. Choix de type de lampe dans l'espace extérieur * Pas adapté, ** Assez adapté, *** Idéal
Source : ManoMano⁶⁸

Pour bien choisir son éclairage d'extérieur :

- Choisir un éclairage en fonction du besoin : Conjuguez esthétisme et praticité.
- Adapter les ampoules à l'éclairage : Préférez des ampoules à basse consommation.
- Régler et orienter les éclairages : Régler minuterie et détecteur de mouvement est synonyme d'économie. Le faisceau produit par un éclairage fonctionnel doit être orienté où le besoin s'avère.
- Choisir des matériaux durables : Préférez pour vos éclairages des carcasses et des structures en inox ou en aluminium

Conclusion :

Dans le cadre du développement durable, il est essentiel de concevoir des édifices en concordance optimale avec leur environnement. L'éclairage artificiel représente une part très importante des consommations totales d'énergie de nombreux bâtiments. Une bonne gestion de la lumière naturelle, alliée au contrôle de l'éclairage artificiel s'avère indispensable.

⁶⁸ ManoMano, Comment choisir un éclairage extérieur ? <https://www.manomano.fr/conseil/comment-choisir-un-eclairage-exterieur-2879>

Chapitre 4 : Ambiance lumineuse

Introduction :

Avant, l'architecture s'intéressait essentiellement à des prescriptions fonctionnelles relatives à l'éclairage des locaux. Cette approche quantitative bien que nécessaire, est fortement réductrice des effets de la lumière en architecture. Des effets qui peuvent changer complètement la perception d'un espace et participer à procurer des ambiances lumineuses agréables.

I. Qu'est-ce qu'une ambiance lumineuse :

Le terme "ambiance" est communément utilisé pour qualifier l'atmosphère qui règne dans un lieu ou dans un milieu qui environne la vie quotidienne d'une personne : ambiance triste, chaleureuse...

L'ambiance est un phénomène subjectif car nous ne pouvons pas le calculer et il dépend de la sensation de chaque individu. Il n'existe pas une définition universelle pour l'ambiance lumineuse.

En architecture par exemple, pour la définir, nous devons combiner plusieurs dimensions pour qu'elle couvre le champ sémantique du concept.

Une ambiance lumineuse au même titre qu'une ambiance sonore ou thermique est un phénomène qui renvoie à ⁶⁹:

- Des paramètres physiques (propagation d'une onde, réflexion/absorption...)
- Des paramètres socio-humains (culture, capacité oculaire, besoin de lumière lié aux usages...)
- Des paramètres sensibles et esthétiques (sensations liées à la lumière, émotions ressenties dans un espace...)

Dans un espace donné, la lumière et l'obscurité interagissent avec l'individu :

- Psychologiquement : le cerveau analyse la lumière et l'espace et donne une lecture mentale.
- Culturellement : en fonction de l'individu, de son origine géographique, de son vécu, de ses connaissances et de son état d'esprit.

L'éclairage ne peut être considéré uniquement du point de vue du vécu physiologique et psychologique de l'observateur : le contexte de l'espace est un élément essentiel de perception et il doit être pris en compte pour caractériser et définir les ambiances lumineuses :

⁶⁹ Chaabouni S., Voir, savoir, concevoir une méthode d'assistance à la conception d'ambiances lumineuses par l'utilisation d'images références, Thèse de doctorat, institut national polytechnique de lorraine, Nancy, 2011

- Les dimensions et la forme du volume,
- Les matières et textures qui le composent,
- Le moment de la journée,
- La durée du déplacement
- Les couleurs qui sont intrinsèquement liées à la lumière émise.

La perception de l'ambiance lumineuse dépend également de l'usage attribué au lieu éclairé. En fonction de telle ou telle activité, un espace mis en lumière sera perçu et qualifié parfois de manière radicalement différente. Un salon éclairé par une simple bougie peut apparaître chaleureux et reposant, mais il sera peut-être vécu comme sombre et pesant si l'on y effectue une tâche qui nécessite une bonne vision (écrire, lire ou travailler).

L'ambiance lumineuse pourra être définie donc comme étant le résultat d'une interaction entre lumière (s), individu, espace et usage⁷⁰.

L'ambiance lumineuse provient d'un éclairage naturel et/ou artificiel. Elle peut être diurne (journalière) ou nocturne.

Les appréciations individuelles de l'ambiance lumineuse d'un lieu ne peuvent pas être anticipées ou appréhendées a priori. Elles s'éprouvent et relèvent d'un vécu.

- L'ambiance lumineuse conçue : est une interaction entre la lumière naturelle, un espace projeté et un usage attribué à l'espace.
- L'ambiance vécue : est une interaction entre la lumière naturelle, un espace construit et traité, un usage et un usager

L'interaction lumière naturelle / usage : renvoie aux considérations en relation avec la dimension d'usages.

L'interaction lumière naturelle / espace projeté : renvoie aux considérations en relation avec la dimension esthétique.

L'interaction espace projeté / usage : renvoie à des considérations en relation avec la dimension technique.

⁷⁰ Narboni R., "Lumière et ambiances : concevoir des éclairages pour l'architecture et la ville", Le Moniteur, Paris, 2006

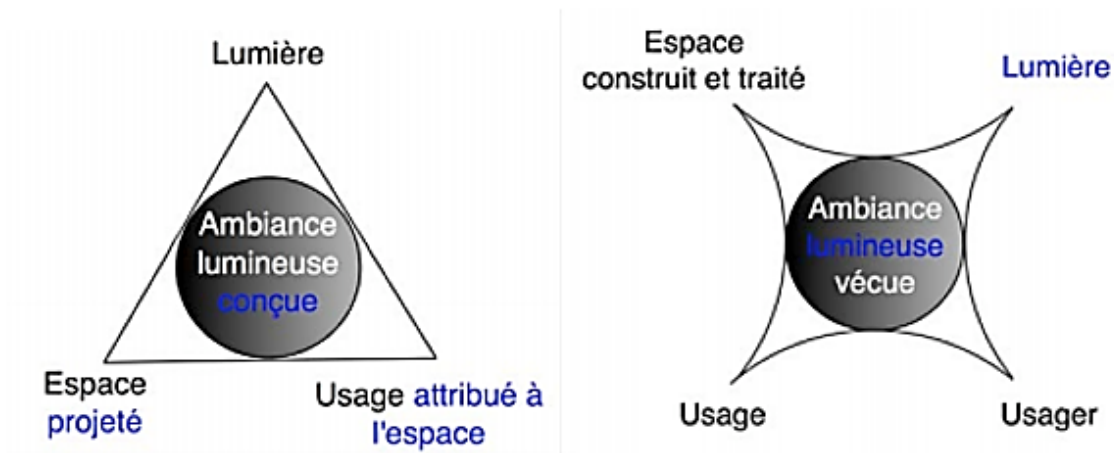


Figure IV.1. Ambiance conçue et ambiance vécue
Source/ Salma Chaabouni⁷¹

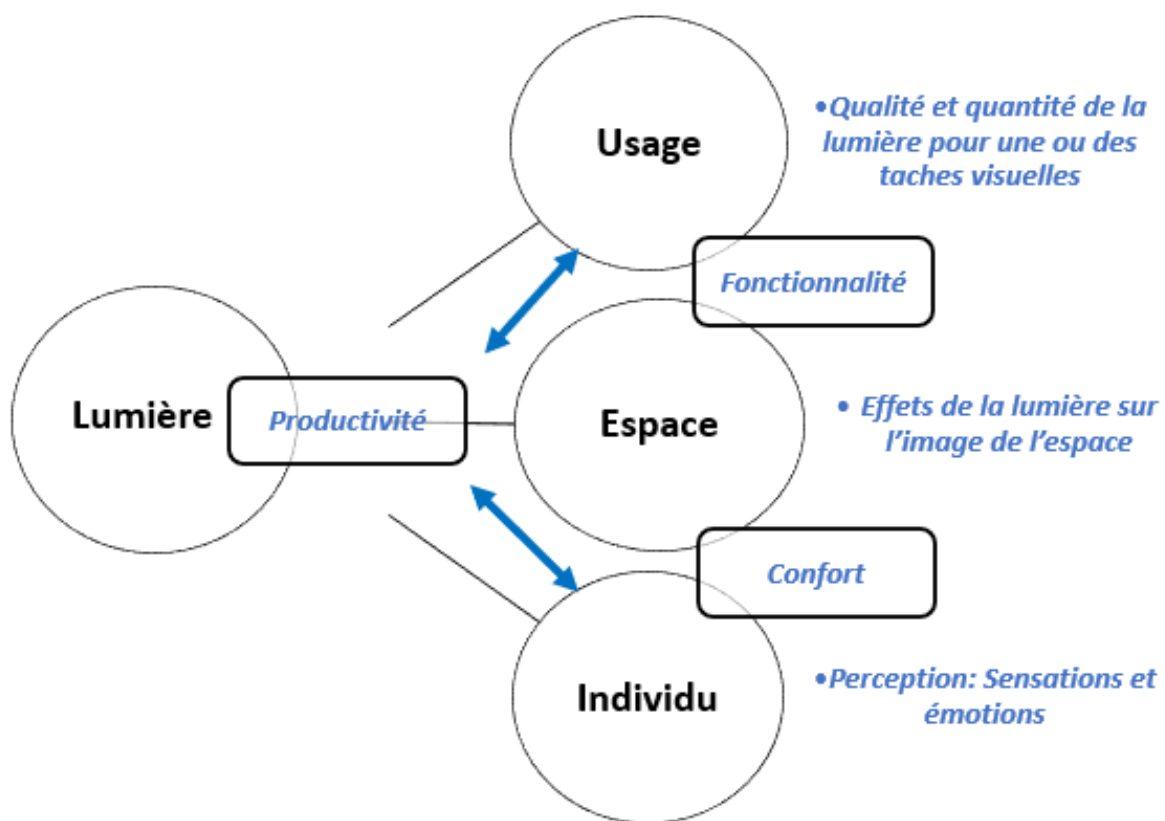


Figure IV.2. Interaction entre les composants de l'ambiance lumineuse
Source : auteur

⁷¹ Chaabouni S., Voir, savoir, concevoir une méthode d'assistance à la conception d'ambiances lumineuses par l'utilisation d'images références, Thèse de doctorat, institut national polytechnique de lorraine, Nancy, 2011

II. Dimensions intervenant dans la conception des ambiances lumineuses :

Les fondements de la conception architecturale initiés par Vitruve⁷², architecte romain du 1er siècle av. J.-C, suggèrent que la qualité architecturale repose sur la triade :

- Utilitas (utilité, adaptation à la fonction),
- Venustas (beauté, grâce)
- Firmitas (solidité)

La triade de Vitruve est approfondie par Alberti (15e siècle renaissance) qui a proposé trois critères mettant en exergue de nouveaux aspects de la qualité architecturale et respectivement associés à ceux de Vitruve :

- Commoditas (usages)
- Voluptas (esthétique)
- Necessitas (technique)

Les critères d'Alberti constituent des dimensions essentielles dans la pratique de la conception de projet. Ils peuvent être transposés tant à l'échelle de la conception globale du projet architectural qu'au niveau de ses composantes.

L'ambiance lumineuse consiste en l'une des composantes du projet.

De ce fait, sa conception repose sur ces trois dimensions pour parvenir à un espace à la fois confortable et saisissant.

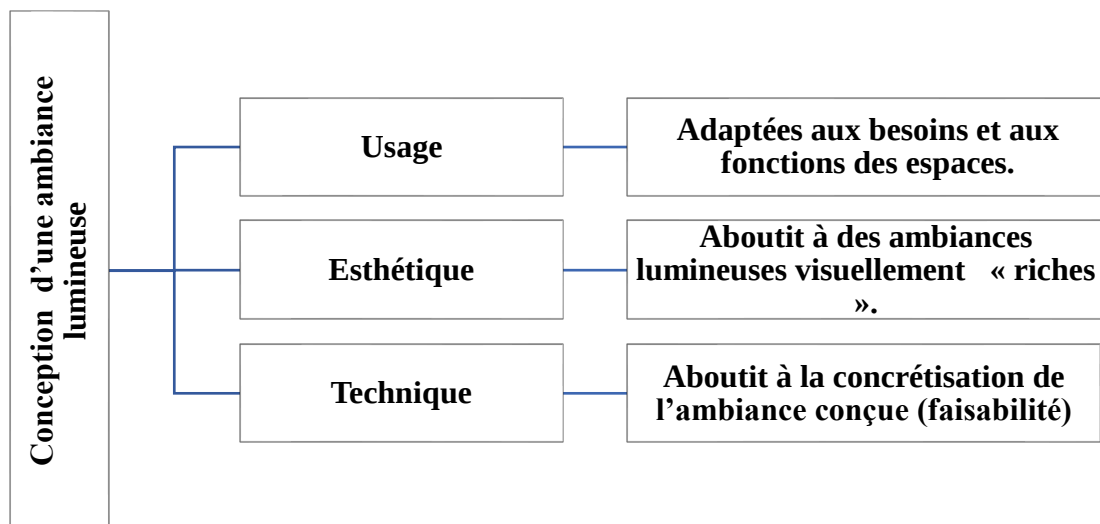


Figure IV.3. Dimensions de conception d'une ambiance lumineuse
Source : auteur

⁷² Vitruve, "Les dix livres d'architecture de Vitruve", Claudius Perrault and André Dalmas (translator), Errance, Paris, 1986

III. Paramètres influençant l'ambiance lumineuse :

L'ambiance lumineuse est influencée par :

a. Le rapport de la lumière avec l'espace :

- La lumière peut relier différentes pièces ou les séparer.
- La lumière relie ou sépare l'intérieur de l'extérieur.
- La lumière permet de valoriser les proportions d'une pièce ou de transformer sa perception
- La lumière différencie l'intérieur de l'extérieur grâce aux ouvertures qui créent un cadrage

b. Le rapport de la lumière avec la forme et la dimension de la pièce :

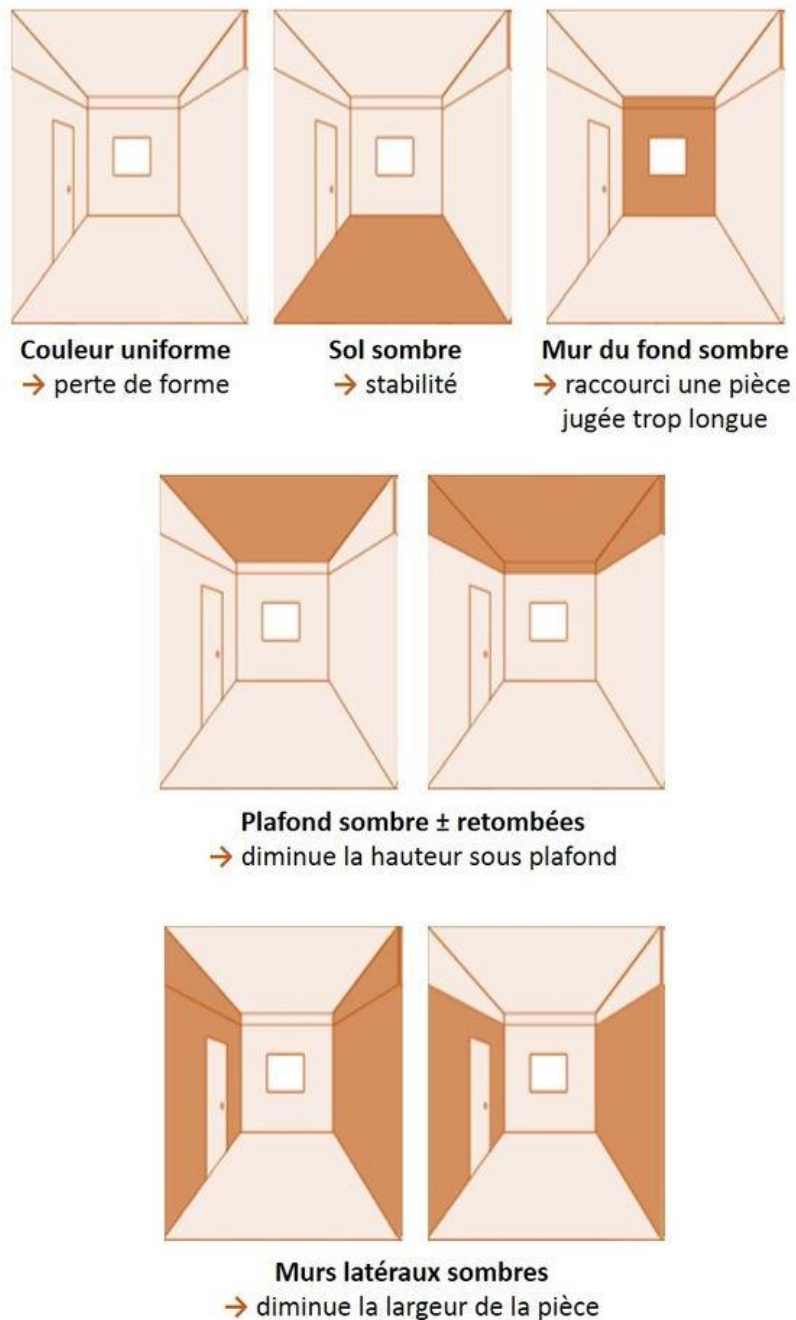
- La lumière est nette et direct dans un espace clos et beaucoup plus diffuse dans un espace ouvert
- La lumière délimite l'espace en éclairant les parois
- Dans l'obscurité les murs (les limites n'apparaissent pas)
- Une surface éclairée paraît plus grande qu'une surface sombre et en perspective fait croire qu'elle est plus proche qu'une surface sombre
- La lumière influence aussi les proportions d'un espace et les réflexions spéculaires de la lumière peuvent être utilisées pour élargir virtuellement un espace
- Les perceptions des pièces peuvent être modifiées par les jeux de la lumière sur ses parois

c. Le rapport de la lumière avec la structure :

- La lumière relève l'importance de la structure et parfois semble même se substituer à elle

d. Le rapport de la lumière avec les matériaux et les couleurs

- La lumière met en valeur la matière en mettant en évidence sa couleur et sa texture
- Les couleurs ont un effet considérable sur la sensation de l'espace et sur l'ambiance lumineuse (effet physiologique et psychologique)
 - *Couleurs chaudes stimulantes.*
 - *Couleurs froides calmantes.*
 - *Couleurs gris et foncés sont déprimantes.*
 - *Couleurs jaune, verte et blanche ont un effet tonique favorable à la concentration*
- Les couleurs peuvent aussi modifier la perception des dimensions et des proportions des surfaces et des volumes.



Figures IV.4. Rapport de l'espace avec la couleur
Source : medium⁷³

IV. Types d'ambiance lumineuse :

On peut distinguer trois catégories fondamentales d'ambiance lumineuse. Cette classification est faite selon le degré de la luminosité d'un espace et s'applique aussi bien sur l'éclairage artificiel que sur le naturel.

⁷³ medium.com, Mettre de la couleur dans votre intérieur, oui mais comment ? 2016
<https://medium.com/@GoodMorningDesign/de-la-couleur-20392f942e7b#.dyruwg5bf>

a. L'ambiance pénombre :

Représente le dialogue entre l'ombre et une lumière "solide" qui la transperce par endroits.

Depuis quelques décennies, la pénombre en architecture est devenue un langage de séduction que de prestation technologique et environnementale.

- Filtrage : Se produit lorsqu'un dispositif s'interpose entre deux milieux ; sans interdire le passage de l'un à l'autre, un filtre sépare des unités distinctes tel un tamis.



Figure IV.5. Filtrage en éclairage naturel

Source : auteur

- Découpage : Provoqué par un rapport figure/fond particulièrement contrasté produisant une distinction nette entre différents plans ou éléments visuels juxtaposés.
- Cadrage : départage en fragments le champ de vision, instaurant ainsi un au-delà et un au-dessus du cadre.

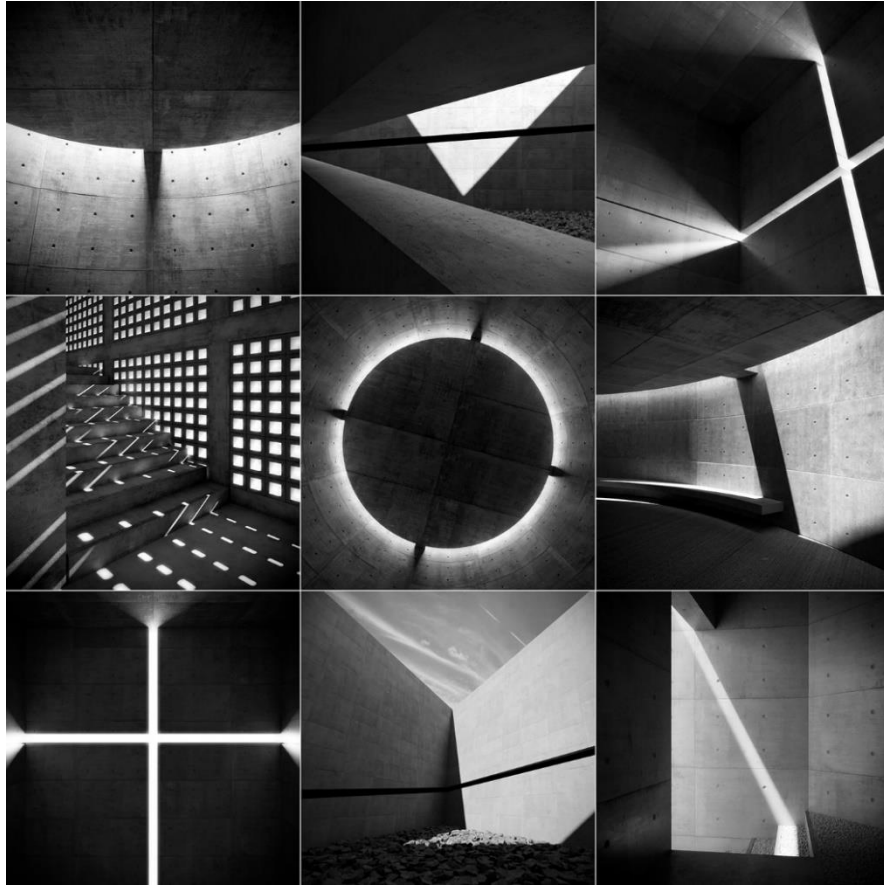


Figure IV.6. Découpage en éclairage naturel
*Source : Pablo Kujman*⁷⁴

b. L'ambiance lumineuse :

Appelée aussi, la clarté ambiante, c'est l'omniprésence d'une lumière qui tend à disparaître parce qu'elle est partout.

c. L'ambiance inondée :

C'est l'exaltation de la lumière qui embrase tout l'espace, trop plein d'une lumière envahissante et parfois écrasante.

Conclusion :

Lors d'une conception architecturale, il convient de penser non seulement à l'approche qualitative relative à la quantité de la lumière nécessaire pour éclairer un espace donné, mais aussi une approche qualitative qui repose sur les ambiances lumineuses qui veillent à offrir une qualité sensible aux espaces tout en satisfaisant les exigences d'éclairage liées aux différents usages de ces espaces.

⁷⁴ Kujman P., a short film of light & shadow, 2020

<https://www.behance.net/gallery/100070353/Tadao-Ando-a-short-film-of-light-shadow>

Chapitre 5 : Energie renouvelable ; photovoltaïque et éolienne

Introduction :

Les énergies renouvelables sont connues comme des technologies qui permettent de produire de l'électricité ou de la chaleur à partir de sources renouvelables. On qualifie les énergies renouvelables « d'énergies flux » par opposition aux « énergies stock » constituées de gisements limités de combustibles fossiles : pétrole, charbon gaz, uranium⁷⁵. En effet, la politique énergétique actuelle veille à concilier deux exigences :

- La satisfaction des besoins énergétiques liés au développement économique et social.
- La protection de l'environnement et la préservation des ressources naturelles.

Dans ce chapitre, il sera question de mettre en avant deux dispositifs de production électrique faisant appel aux énergies renouvelable : le photovoltaïque et l'éolien.

I. Le photovoltaïque pour la production électrique :

Le terme « photovoltaïque » souvent abrégé par le sigle « PV », a été formé à partir des mots « photo » un mot grec signifiant lumière et « Volta » le nom du physicien italien Alessandro Volta qui a inventé la pile électrochimique en 1800. L'effet photovoltaïque est la conversion directe de l'énergie solaire en électricité. Il a été découvert par Alexandre Edmond Becquerel en 1839⁷⁶.

I.1.Principe du système photovoltaïque :

Principe de l'énergie solaire photovoltaïque : transformer le rayonnement solaire en électricité à l'aide d'une cellule photovoltaïque⁷⁷.

- La lumière solaire entre par la surface des modules photovoltaïques, où elle est convertie en énergie électrique de courant continu (générateur photovoltaïque).
- Cette énergie est collectée et conduite au système de régulation de charge (régulateur) dont la fonction est d'envoyer cette énergie de manière totale ou partielle au système de cumul (batterie).
- L'énergie est stockée avec la précaution de ne pas excéder les limites de surcharge et de décharge profondes. (L'énergie stockée est utilisée pour le ravitaillement des charges pendant la nuit, en jours de

⁷⁵ Geitmann S., Energie renouvelables et carburants alternatifs, de nouvelles énergies pour l'avenir, Hydrogeit-Verlag, 2007

⁷⁶Le Comité des Experts, Solaire photovoltaïque, Connaissance des énergies, 2017, <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/solaire-photovoltaique>

⁷⁷ Idem

faible ensoleillement ou lorsque le système photovoltaïque est incapable de satisfaire la demande lui-même)⁷⁸.

- Quand les charges à alimenter sont de courant continu, elles s'alimentent de manière directe.
- Quand les charges sont de courant alternatif, l'énergie s'envoie à un inverseur de courant où elle est convertie en courant alternatif (onduleur).

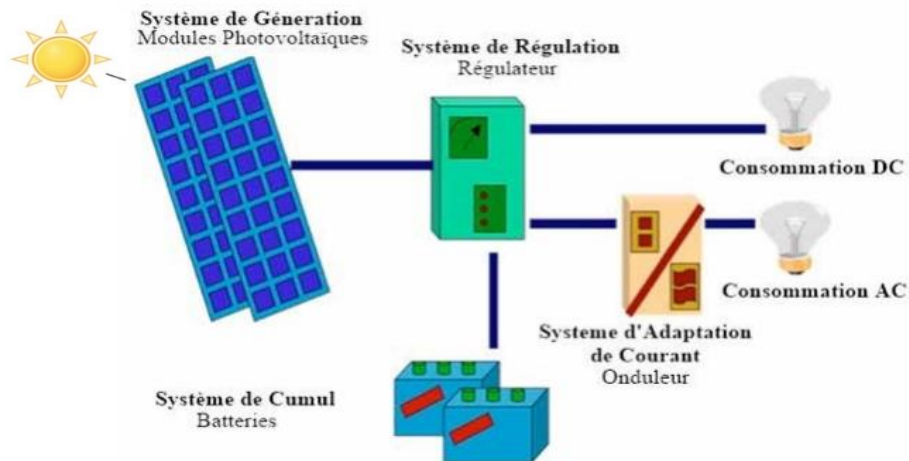


Figure V.1. *Éléments d'un système solaire photovoltaïque*
Source : Fondation ICAI⁷⁹

I.2. Les composantes du système photovoltaïque :

a. Générateur photovoltaïque :

- La Cellule photovoltaïque :

Constitue l'élément de base des panneaux solaires photovoltaïques. Il s'agit d'un dispositif semi-conducteur à base de silicium délivrant une tension de l'ordre de 0,5 à 0,6 V.

Les cellules solaires sont recouvertes d'une couche antireflet qui protège la cellule et réduit les pertes par réflexion. C'est une couche qui donne aux cellules solaires leur aspect bleu foncé.

- Module solaire ou photovoltaïque

C'est une mise en série des cellules photovoltaïques. Le but c'est obtenir une tension plus importante "le module solaire" ou "panneau photovoltaïque". Un panneau photovoltaïque permet d'obtenir une

⁷⁸ Fondation ICAI, Manuel de formation pour l'Installation et la Maintenance de petits systèmes photovoltaïques
https://unmundosalvadorsoler.org/_Files/foro/Manuel%20Pratique%20de%20petits%20syste%CC%80mes%20photovoltai%CC%88ques.pdf

⁷⁹Idem

tension de 12 volts. La puissance est en fonction de sa surface, c'est à dire du nombre de cellules photovoltaïques.

La puissance maximale délivrée par un module dans les conditions optimales (orientation, inclinaison, ensoleillement,) est appelée la puissance crête. Un module de 1 m² produit 100 Wc (watt crête).

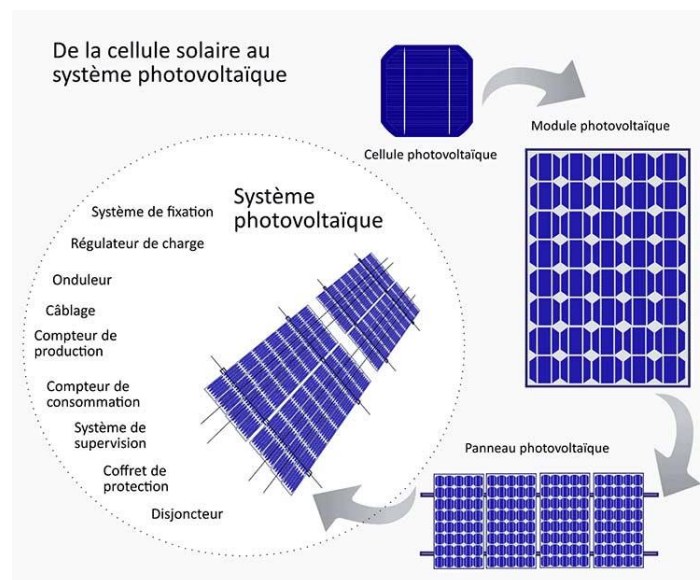


Figure V.2. Module photovoltaïque
Source : Mypower.engie⁸⁰

b. Régulateur :

Il implique une vigilance continue pour éviter les surcharges et les décharges profondes que la batterie peut produire.

c. Batterie

La batterie a pour fonction le stockage d'une partie de l'énergie produite par les panneaux. Cette énergie stockée est utilisée pour le ravitaillement des charges pendant la nuit, en jours de faible ensoleillement ou lorsque le système photovoltaïque est incapable de satisfaire la demande lui-même. Quand les charges à alimenter sont de courant continu, elles s'alimentent de manière directe.

- **La surcharge** : La batterie atteint sa pleine capacité de charge. Si elle continue à recevoir de l'énergie, l'eau de la dissolution commence à se décomposer, en produisant de l'oxygène et de l'hydrogène (processus de gazéification).
- **La sur décharge** : Il existe aussi une limite pour le processus de décharge, après lequel la batterie se détériore notamment.

⁸⁰Mypower.engie, Installation de panneau solaire : 8 schémas pour tout expliquer, 2023
<https://mypower.engie.fr/conseils/panneaux-solaires/panneau-solaire-photovoltaïque/schema-panneau-photovoltaïque.html>

d. Onduleur :

Les systèmes solaires produisent de l'énergie électrique en courant continu mais beaucoup d'électrodomestiques et de récepteurs fonctionnent avec le courant alternatif.

L'onduleur permet de convertir le courant continu produit par les panneaux photovoltaïques en courant alternatif identique à celui du réseau électrique.

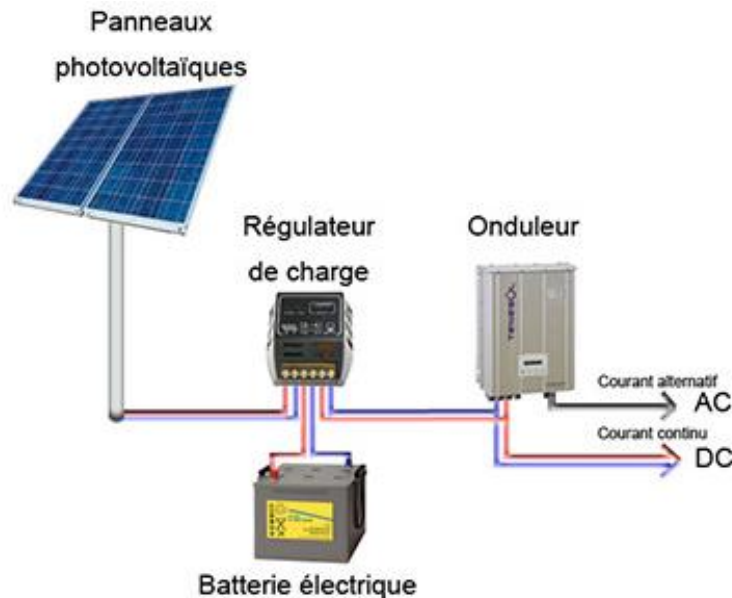


Figure V.3. Éléments d'un système solaire photovoltaïque
Source : Somabe⁸¹

I.3. Types d'installations photovoltaïques :

Il existe deux types d'installation : les installations sur site isolé et les installations raccordée au réseau de distribution public.

a. Les installations sur site isolé :

Ce type de montage est adapté aux installations ne pouvant être raccordées au réseau. L'énergie produite doit être directement consommée et/ou stockée dans des accumulateurs pour permettre de répondre à la totalité des besoins.

Ce type d'installation peut être autonome ou hybride associé avec un groupe électrogène comme le montre la figure.71.

⁸¹ Somabe, Photovoltaïque Pour Site Isolé, <https://somabe.com.tn/nos-services/photovoltaique-pour-site-isole/>

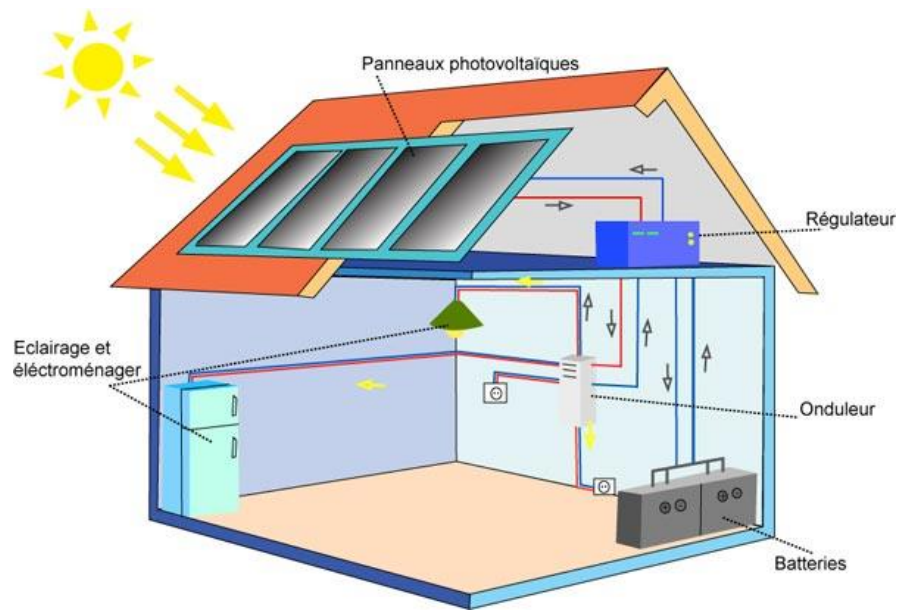


Figure V.4. Installations sur site isolé
Source : Somabe⁸²

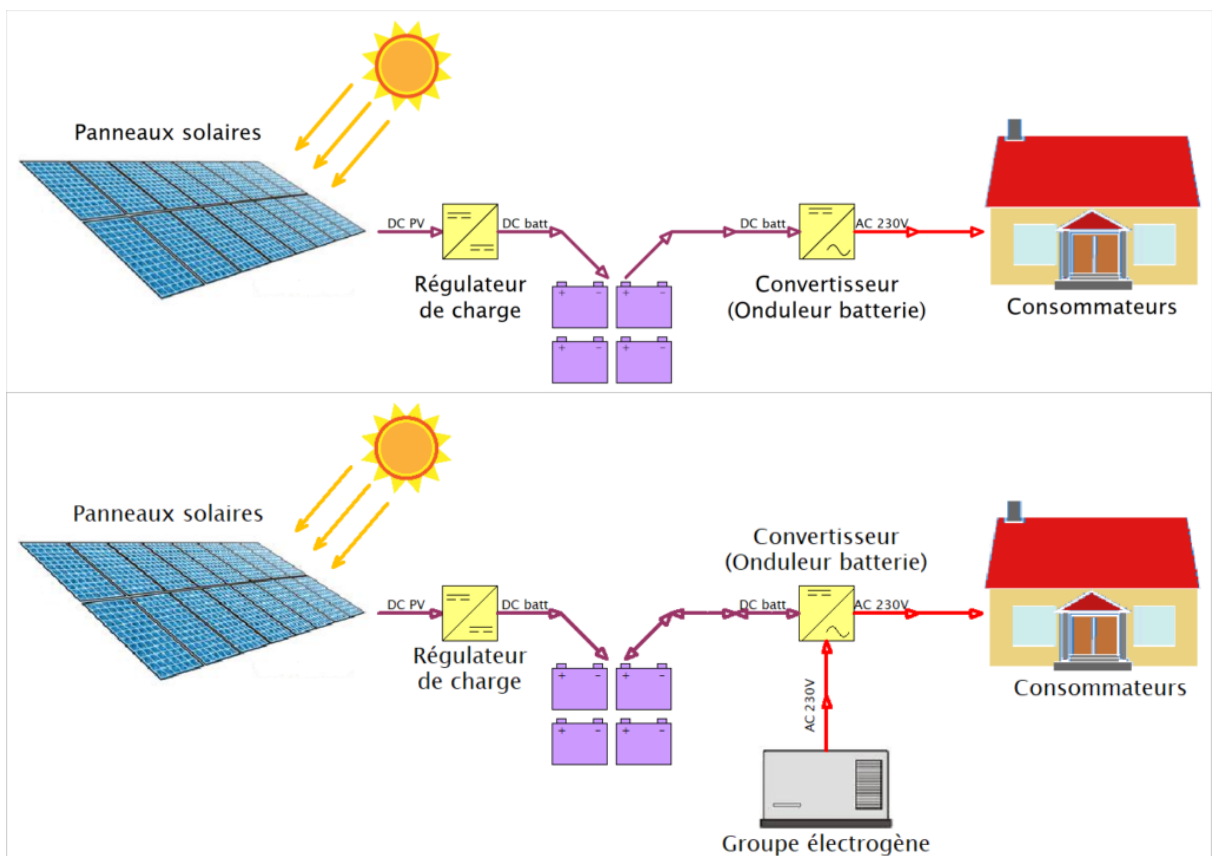


Figure V.5 : Installations sur site isolé autonome et hybride
Source : solaire-offgrid⁸³

⁸² Idem

⁸³ Solaire-offgrid, Les différentes architectures du solaire photovoltaïque,
<http://www.solaire-offgrid.com/le-solaire-et-ses-applications/architectures-solaire-photovoltaïque/>

b. Les installations raccordées au réseau de distribution public :

- Installation avec injection totale :

Toute l'énergie électrique produite par les capteurs photovoltaïques est envoyée pour être revendue sur le réseau de distribution.

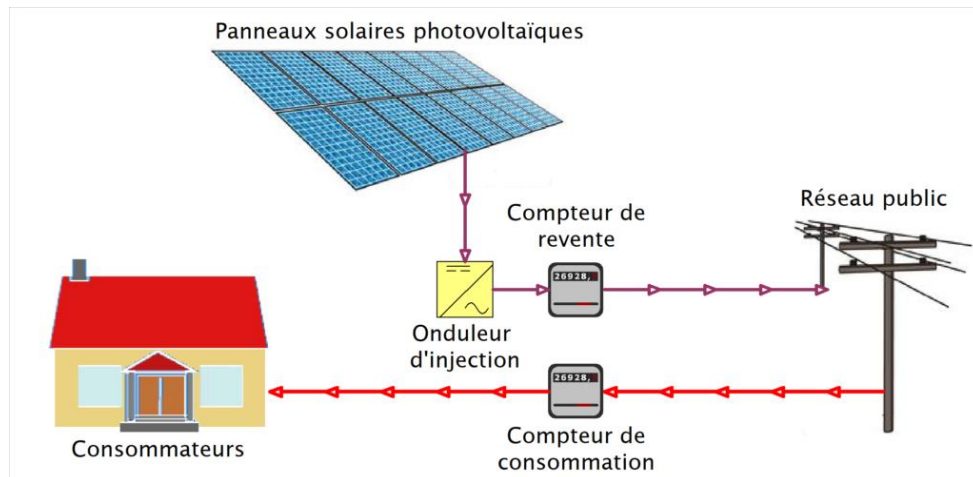


Figure V.6. Installation avec injection totale
Source : solaire-offgrid⁸⁴

- Installation avec injection de surplus (partielle) :

Cette solution est réalisée avec le raccordement au réseau public en un point : l'utilisateur consomme l'énergie qu'il produit avec le système solaire et l'excédent est injecté dans le réseau.

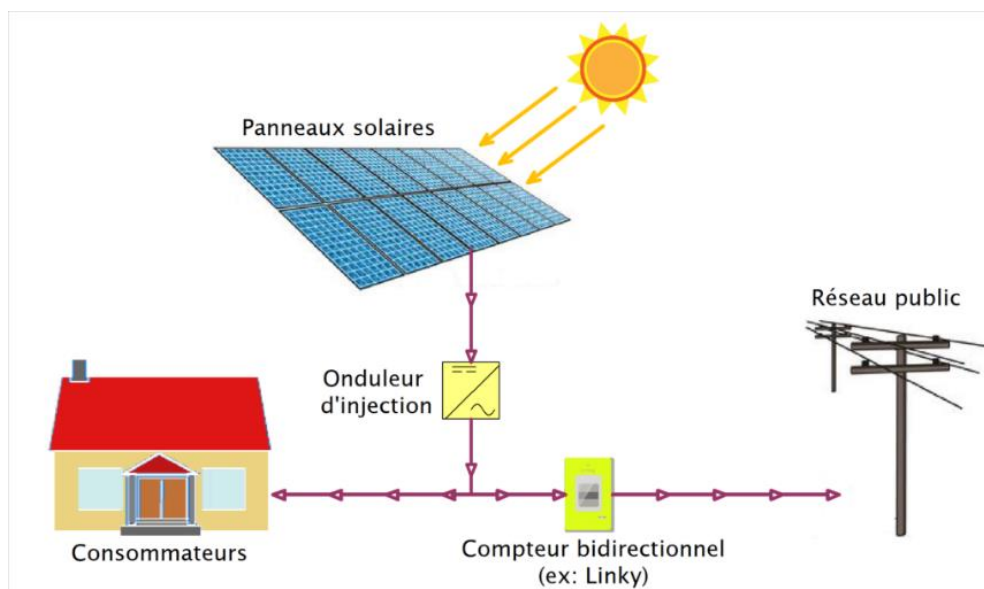


Figure V.7. Installation avec injection partielle
Source : solaire-offgrid⁸⁵

⁸⁴ Idem

⁸⁵ Idem

- Installation avec consommation hybride :

Cette solution est réalisée avec le raccordement au réseau public en un point : l'utilisateur consomme l'énergie qu'il produit avec le système solaire. Quand la production photovoltaïque est insuffisante, le réseau fournit l'énergie nécessaire. Ce système peut être doté d'une batterie pour gérer l'énergie.

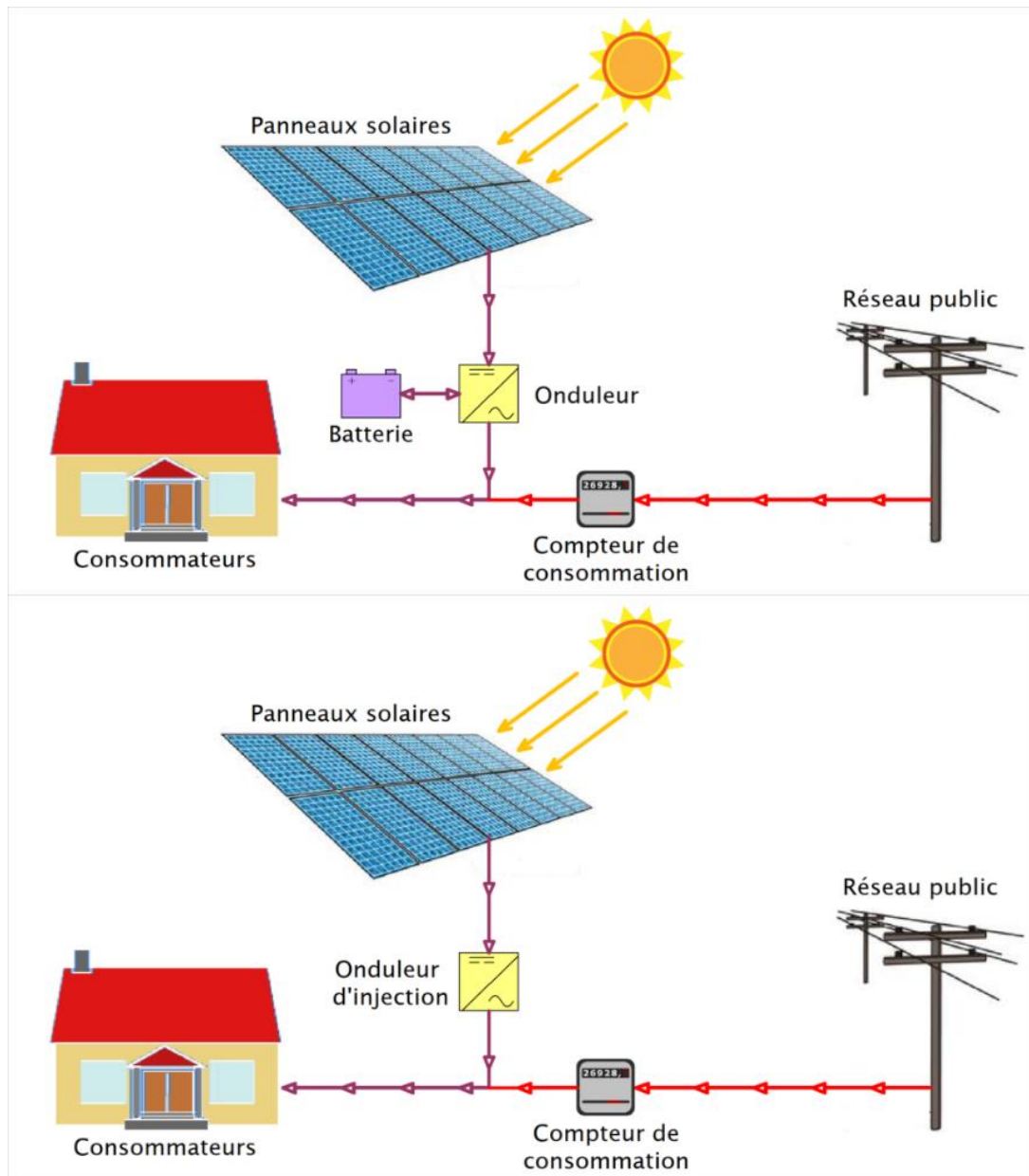


Figure V.8. Installation à consommation hybride (avec stockage et sans stockage)

Source : solaire-offgrid⁸⁶

⁸⁶ Idem

I.4. Paramètres influençant un système photovoltaïque :

Un système photovoltaïque fait appel à quelques paramètres pour assurer sa performance : l'inclinaison de toiture, de son orientation, de la surface disponible, de l'ombrage, de consommation, de l'isolation... Ensuite, la qualité des matériaux utilisés est importante, le rendement des panneaux et l'efficacité de l'onduleur dépendant des marques et des technologies utilisées par les fabricants.

- L'orientation des modules :

La localisation de l'installation sur le toit est très importante. Idéalement, elle doit être orientée (à nos latitudes) plein sud, avec un angle d'inclinaison de 35°.

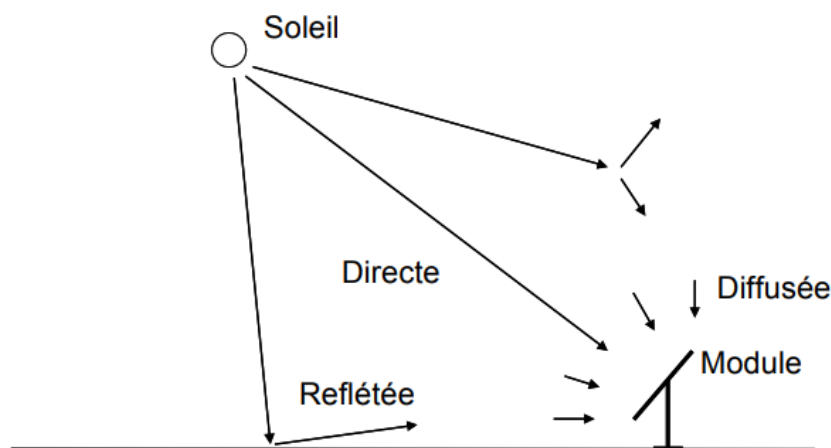


Figure V.9. Orientation des modules photovoltaïques
Source : Fondation ICAI⁸⁷

- L'inclinaison des modules :

L'inclinaison correspond à la pente du module par rapport à l'horizontale. Elle se mesure en ° :

- Une inclinaison de 0° signifie que le module est à plat.
- Une inclinaison de 90° signifie que le module est à la verticale.

Pour produire un maximum d'électricité, un module photovoltaïque doit être incliné de façon perpendiculaire aux rayons du soleil. Ceci est très généralement impossible à obtenir car la position du soleil varie en fonction de l'heure de la journée et aussi en fonction des saisons.

⁸⁷ Fondation ICAI, Manuel de formation pour l'Installation et la Maintenance de petits systèmes photovoltaïques, <https://unmundosalvadorsoler.org/Files/foro/Manuel%20Pratique%20de%20petits%20syste%CC%80mes%20photovoltai%CC%88ques.pdf>

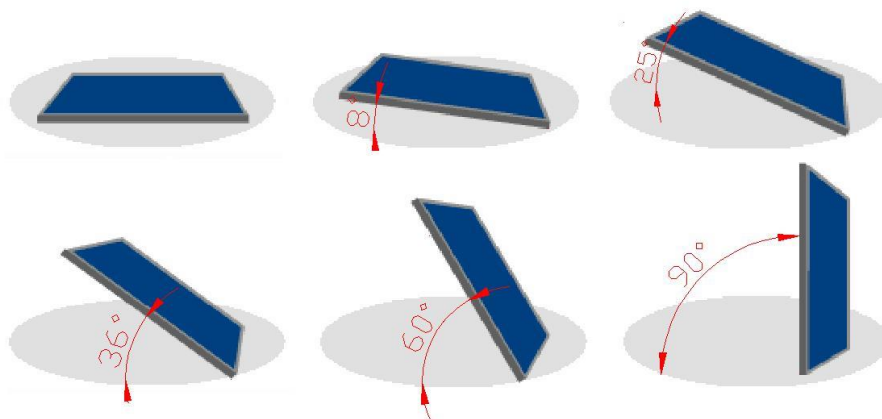


Figure V.10: Inclinaison des modules photovoltaïques
Source : GuidEnR Photovoltaïque ⁸⁸

I.5. Architecture solaire ; conjuguer technologie et esthétique :

Au fil du temps, la trajectoire du soleil est devenue une composante essentielle de l'architecture. Sous toutes latitudes. Dans son œuvre, Le Corbusier a porté à son zénith cette réflexion sur l'ensoleillement et la lumière. Mais aujourd'hui, les architectes peuvent capter les rayons solaires pour produire de l'énergie et fournir l'électricité nécessaire à la vie du bâtiment. Jusqu'à présent, ils étaient limités par les défauts des panneaux photovoltaïques – couleurs restreintes au noir et bleu foncé, reflets du soleil, cellules apparentes – mais des solutions alternatives révèlent une nouvelle esthétique de façade⁸⁹.

Le photovoltaïque intégré au bâtiment ou Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) a radicalement changé le style, le design, des panneaux solaires. Dès lors, ceux-ci sont totalement intégrés dans l'architecture des bâtiments.

Avec la baisse des coûts et l'augmentation de son efficacité, la technologie solaire a atteint un certain niveau de maturité. Jusqu'ici, l'accent était placé sur l'efficacité énergétique lors de la réalisation d'installations photovoltaïques, laissant souvent au second plan les réflexions d'ordre esthétique. Ce n'est plus une fatalité : l'énergie solaire est désormais en mesure de conjuguer efficacité et esthétique. Grâce à une architecture moderne, les installations peuvent être harmonieuses sur le plan architectonique tout autant qu'efficaces.

⁸⁸ GuidEnR Photovoltaïque, Effet de l'inclinaison du champ photovoltaïque, http://www.photovoltaique.guidenr.fr/informations_techniques/conception-photovoltaïque-raccordee-reseau/effet-inclinaison.php

⁸⁹ Croset J.M., L'architecture solaire se dessine, 2018, <https://www.tdg.ch/larchitecture-solaire-se-dessine-165704572239>

Ce système présente un double avantage :

- Propose un design plus « doux », qui apporte un « plus » esthétique au bâtiment
- Permet de produire de l'énergie renouvelable

Le photovoltaïque se décline également sous plusieurs formes :

- Vitrages colorés,
- Panneaux, verrières,
- Tuiles solaires,
- Carports pour la voiture,

- Les vitrages colorés :

Les possibilités sont infinies, car des couleurs à base de nano-encre sont appliquées sur les cellules photovoltaïques. Imitation de la pierre, du bois, du marbre, les teintes des panneaux sont adaptables selon les souhaits des clients ou la couleur du matériau utilisé sur les façades.⁹⁰

Si un panneau solaire de 1,6 m² peut garantir de 125 à 140 watts crête (Wc) par mètre carré, les panneaux solaires colorés ont un rendement plus faible dû à la coloration des cellules. Leur position (verticale) peut également diminuer leur efficacité de l'ordre de 20 % à 25 %. De plus, si le blanc est une couleur esthétiquement intéressante, elle est également réfléchissante.

Cette nouvelle génération de panneaux solaires photovoltaïques modifie complètement l'approche architecturale avec un « habillage » qui joue avec les formes et les couleurs.



Figure V.11. Vitrage photovoltaïque coloré
Source : Lottie Limb & Emmy Arpin Alotto⁹¹

⁹⁰ Innovation24, Architecture et photovoltaïque : les nouveaux concepts,
<https://www.innovation24.news/2020/02/07/architecture-et-photovoltaïque-les-nouveaux-concepts/>

⁹¹ Limb L., Alotto E., Des panneaux solaires en déchets agricoles : de l'énergie sans lumière directe, Euronews, 2022,
<https://fr.euronews.com/green/2022/06/22/panneaux-solaires-fabriques-a-partir-de-residus-de-culture-de-lenergie-sans-lumiere-directe>

- Le toit solaire :

Les modules solaires sont le plus souvent installés sur des surfaces de toiture intactes préexistantes. Orientées Sud, les toitures solaires peuvent toutefois être fabriquées à partir de modules sans cadres (parfois appelés tuiles solaires) qui forment une surface étanche à l'eau et remplacent dès lors les tuiles. Dans le cadre d'une nouvelle construction ou d'un assainissement de toiture, cela permet d'économiser des matériaux aussi bien que du temps de montage.

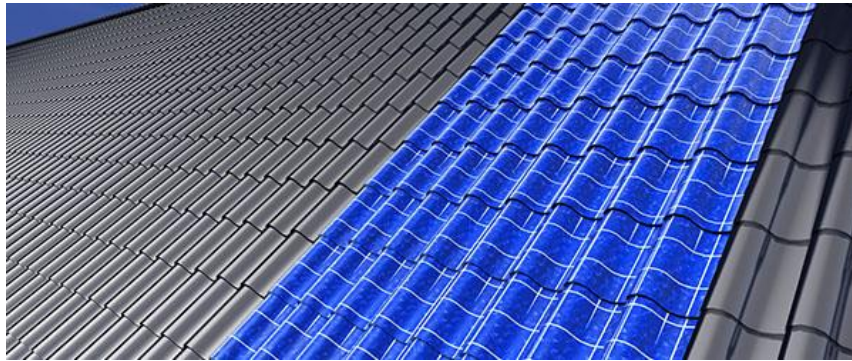


Figure V.12 : Tuiles solaires

Source : Allotoiture⁹²

- Les façades solaires :

Les façades solaires offrent la possibilité d'exploiter énergétiquement de grands pans de façade. Fortement inclinées ou verticales, elles présentent l'avantage de produire de l'énergie supplémentaire, principalement en hiver, soit durant la période de l'année où la consommation est la plus élevée. Orientées à l'est ou à l'ouest, elles produisent pour leur part plus d'énergie tôt ou tard dans la journée, équilibrant de la sorte la courbe de production.

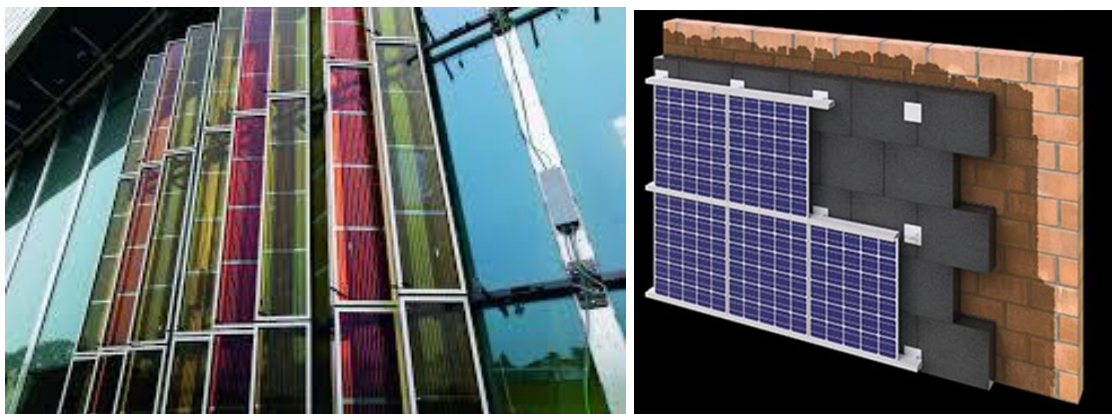


Figure V.13. Éléments d'un système solaire photovoltaïque

Source : foamglas⁹³

⁹²Allotoiture, Tuile photovoltaïque, <https://www.allotoiture.com/tuile-solaire-photovoltaïque/>

⁹³ foamglas , <https://www.foamglas.com/fr-ch/applications-et-solutions/facades/solar/b-f-solar>

- Balustrades de balcons :

Les balustrades de balcons présentent souvent des surfaces plus importantes qu'on ne le pense. Une balustrade de 1 mètre de haut et de 5 mètres de large permet de produire environ 25% la consommation électrique d'une famille. La pose d'une telle installation sur une maison existante est particulièrement aisée.



Figure V.14. Balustrade en photovoltaïque
Source : Solarmarkt⁹⁴

- Volets solaires coulissants :

Les volets peuvent aussi servir à la production de chaleur ou d'électricité solaire. Ils peuvent satisfaire dès lors deux fonctions simultanées : la protection des locaux intérieurs de la chaleur et de la lumière de même que la production d'énergie.



Figure V.15. Volets solaires
Source : Le moniteur⁹⁵

⁹⁴ Solarmarkt, <https://www.solarmarkt.ch/fr/services/pour-les-maitres-d-ouvrage/configurateur-d-abri-de-voitures>

⁹⁵ Le moniteur, <https://www.lemoniteur.fr/photo/une-facade-entierement-equipee-de-stores-photovoltaiques-mobiles.636189/facade.1>

- Carport :

Les couverts pour voitures ou les abris à vélos sont des supports idéals pour les modules solaires. Le courant produit, peut être utilisé sur place pour le chargement de voitures ou de vélos électriques.



Figure V.16. Carport
Source : particuliers⁹⁶

I.6.Critère de choix d'une installation solaire :

Les installations solaires doivent répondre à certains critères : économiques, efficacité énergétique, esthétique...

- Économique :

Cout et amortissement de l'installation par la vente de l'électricité.

- Production de l'énergie :

Ressource solaire du lieu géographique (latitude, altitude, les données météorologiques)

Orientation des panneaux et inclinaison par rapport à l'horizontale.

Ombre sur les panneaux et inclinaison par rapport à l'horizontale.

Rendement de l'ensemble (panneaux, onduleur, pertes dans les câbles)

- Esthétique :

Intégration dans l'environnement avec impact visuel harmonieux.

- Écologique :

Réduction de l'effet de serre.

- Pédagogique :

Promotion des installation solaires

⁹⁶ Particuliers, Participez au développement d'énergie renouvelable avec Parkosol
<https://particuliers.geg.fr/dossier/28/45-participez-au-developpement-d-energie-renouvelable-avec-parkosol.htm>

- Sécurisation :

Suivant le type d'installation solaire :

- Installation avec stockage d'énergie
- Installation avec injection dans le réseau

La figure V.17 résume les critères d'une conception solaire selon la triade de Vitruve.⁹⁷

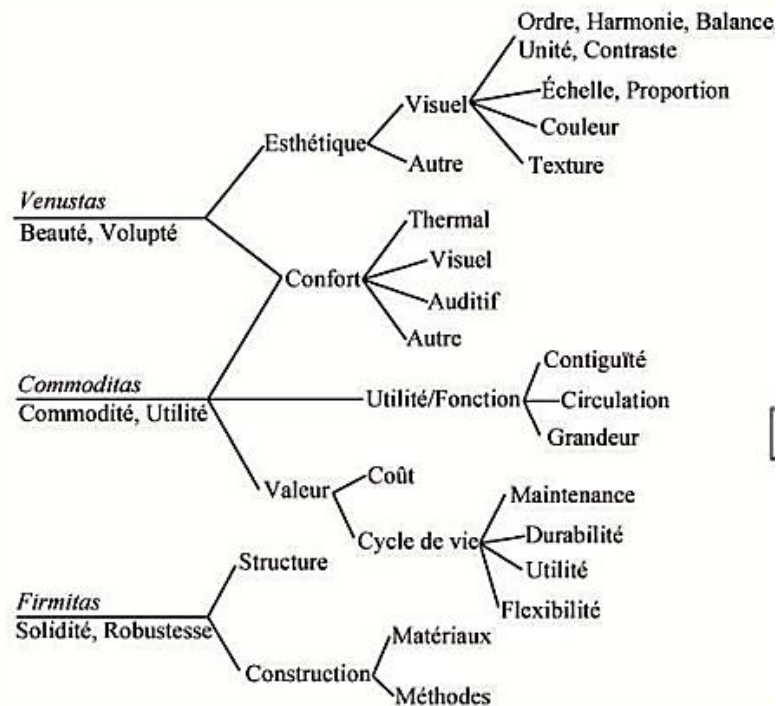


Figure V.17. Analyse hiérarchique d'une conception solaire

Source : Émilie Bouffard⁹⁸

- L'architecture solaire offre les possibilités suivantes :
 - Accroître la palette architecturale ;
 - Réduire les coûts de construction, car les modules photovoltaïques (ex. tuiles solaires) peuvent se substituer à d'autres éléments de construction ;
 - Contribuer à la production d'énergie en hiver durant les heures du matin et du soir (p.ex. façades solaires) ;
 - Recharger une voiture ou un vélo électrique directement à partir du toit (p.ex. toit d'un couvert à voiture).

⁹⁷Bouffard I., Conception de bâtiments solaires : méthodes et outils des architectes dans les phases initiales de conception, Université Laval, Canada, 2013, <https://corpus.ulaval.ca/server/api/core/bitstreams/1efd4dd0-3518-4bfc-a74a-e09c10c1b941/content>

⁹⁸ Idem

I.7. Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque :

Avantages :

- Energie indépendante, le combustible (le rayonnement solaire) est renouvelable et gratuit.
- L'énergie photovoltaïque est une énergie propre et non-polluante qui ne dégage pas de gaz à effet de serre et ne génère pas de déchets.
- Génère l'énergie requise.
- Réduit la vulnérabilité aux pannes d'électricité.
- L'extension des systèmes est facile, la taille d'une installation peut aussi être augmentée par la suite pour suivre les besoins de la charge.
- La revente du surplus de production permet d'amortir les investissements voir de générer des revenus.
- Entretien minimal.
- Aucun bruit.

Inconvénients :

- La fabrication des panneaux photovoltaïques relève de la haute technologie demandant énormément de recherche et développement et donc des investissements coûteux.
- Les rendements des panneaux photovoltaïques sont encore faibles.
- Nécessite un système d'appoint (batteries) pour les installations domestiques.
- Le coût d'investissement sur une installation photovoltaïque est cher
- Durée de vie entre 20 et 25 ans après le silicium cristallise et rend inutilisable la cellule.
- Pollution à la fabrication : certaines études prétendent que l'énergie utilisée pour la fabrication des cellules n'est jamais rentabilisée durant les 20 ans de production.
- En fin de vie, le recyclage des cellules pose des problèmes environnementaux.

II. L'éolien pour la production électrique :

L'énergie éolienne est une énergie "renouvelable" non dégradée, géographiquement diffuse, et surtout en corrélation saisonnière (en hiver la moyenne des vitesses des vents est la plus élevée).

C'est une énergie qui ne produit aucun rejet atmosphérique ni déchet radioactif. Elle est toutefois aléatoire dans le temps et son captage reste assez complexe, nécessitant des éléments convenables.⁹⁹

II.1. Principe de l'éolien :

⁹⁹ TIR Z., Contribution à l'Étude d'un Aérogénérateur Asynchrone en Cascade, mémoire de magister, Université d'El Oued, 2010, https://www.researchgate.net/figure/1-Principaux-organes-du-systeme-de-conversion-eolien-Lenergie-eolienne-est-une-energie_fig1_265087995

Un aérogénérateur, plus communément appelé éolienne, est un dispositif qui tire son énergie du vent et la transforme en électricité.

L'électricité est produite en suivant le principe de Faraday : une boucle tourne sur elle-même dans un champ magnétique et génère un courant électrique dans cette même boucle.

Une partie de l'énergie cinétique du vent est transformée en énergie mécanique disponible sur un arbre de transmission puis en énergie électrique par l'intermédiaire d'un générateur.

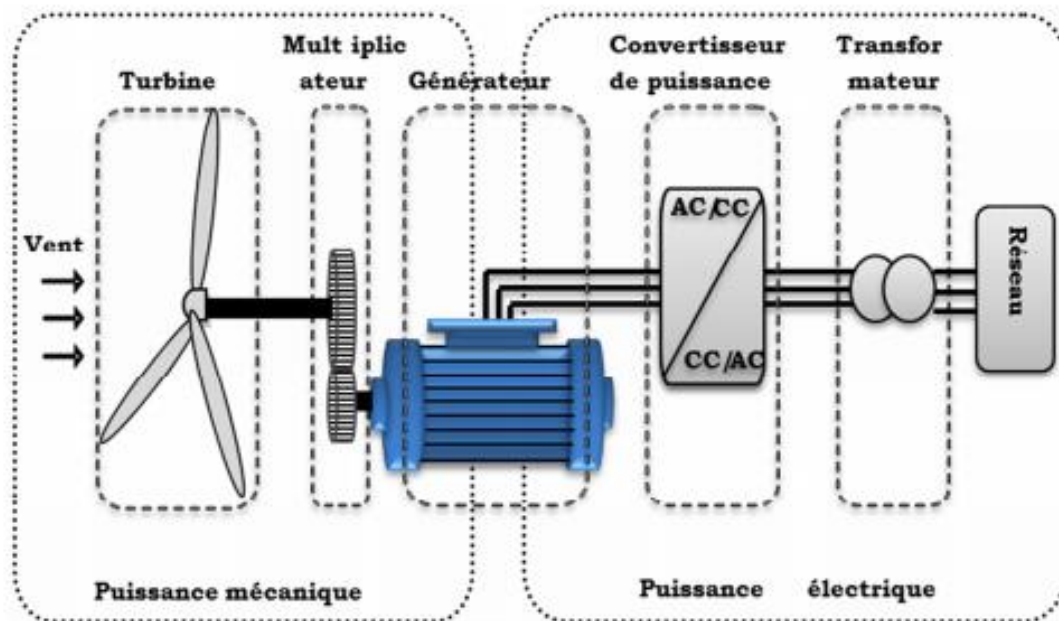


Figure V.18. Principe de l'éolienne

Source : TIR Zoheir¹⁰⁰

1.2. Composantes d'une éolienne :

Une éolienne est constituée d'un mât de 50 à 100 m de haut. À son sommet se trouve une nacelle équipée d'un rotor à axe horizontal, lui-même équipé de trois pales mise en rotation par le vent. Le vent fait tourner les pales entre 10 et 25 tours par minute. L'énergie mécanique ainsi produite est transformée en énergie électrique dans la nacelle grâce à une génératrice (phénomène d'induction) qui délivre un courant alternatif de ~690 volts dont l'intensité varie avec la vitesse.

¹⁰⁰ Idem

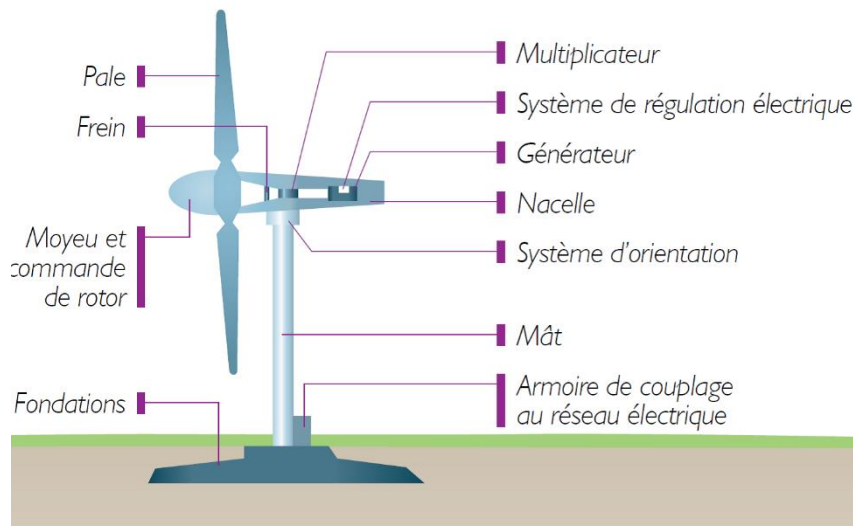


Figure V.19. Éléments d'un système solaire photovoltaïque
Source : Parc-eolien-mont-des-quatre-faux¹⁰¹

I.3. Types d'éolienne :

Les éoliennes peuvent être classées selon :

- Leur axe de rotation
- Leur emplacement
- Leur taille
- Leur nombre de pales

a. Selon l'axe de rotation

- Éolienne à axe vertical

Elles ont été les premières structures développées pour produire de l'électricité. De nos jours, ce type d'éolienne est plutôt marginalisé et son utilisation est beaucoup moins répandue¹⁰².

Avantages :

- La conception verticale offre l'avantage de mettre le multiplicateur, la génératrice et les appareils de commande directement au sol.
- Son axe vertical possède une symétrie de révolution ce qui permet de fonctionner quel que soit la direction du vent sans avoir à orienter le rotor.
- Sa conception est simple, robuste et nécessite peu d'entretien.

¹⁰¹ Parc-eolien-mont-des-quatre-faux, Comment ça marche ? <https://www.parc-eolien-mont-des-quatre-faux.fr/lenergie-eolienne/comment-ca-marche/>

¹⁰² Metatla S., Optimisation et régulation des puissances d'une éolienne à base d'une MADA, mémoire de magister de l'école nationale supérieure polytechnique d'Alger, 2009, <http://repository.enp.edu.dz/jspui/handle/123456789/6004>

Inconvénient :

- Elles sont moins performantes que celles à axe horizontal.
- La conception verticale de ce type d'éolienne impose qu'elle fonctionne avec un vent proche du sol, donc moins fort car freiné par le relief.
- Leur implantation au sol exige l'utilisation des tirants qui doivent passer au-dessus des pales, donc occupe une surface plus importante que l'éolienne à tour.

- Eoliennes à axe horizontal

Actuellement les plus répandues sans doute à cause de leurs avantages remarquables, elles comportent généralement des hélices à deux ou trois pales face ou sous le vent.

En suivant le sens de parcours du vent, le rotor peut être placé en amont ou en aval de la nacelle.

Avantages :

- Une très faible emprise au sol par rapport aux éoliennes à axe vertical.
- Cette structure capte le vent en hauteur, donc plus fort et plus régulier qu'au voisinage du sol.
- Le générateur et les appareils de commande sont dans la nacelle au sommet de la tour. Ainsi, il n'est pas nécessaire de rajouter un local pour l'appareillage.

Inconvénient :

- Coût de construction très élevé.
- L'appareillage se trouve au sommet de la tour ce qui gêne l'intervention en cas d'incident.

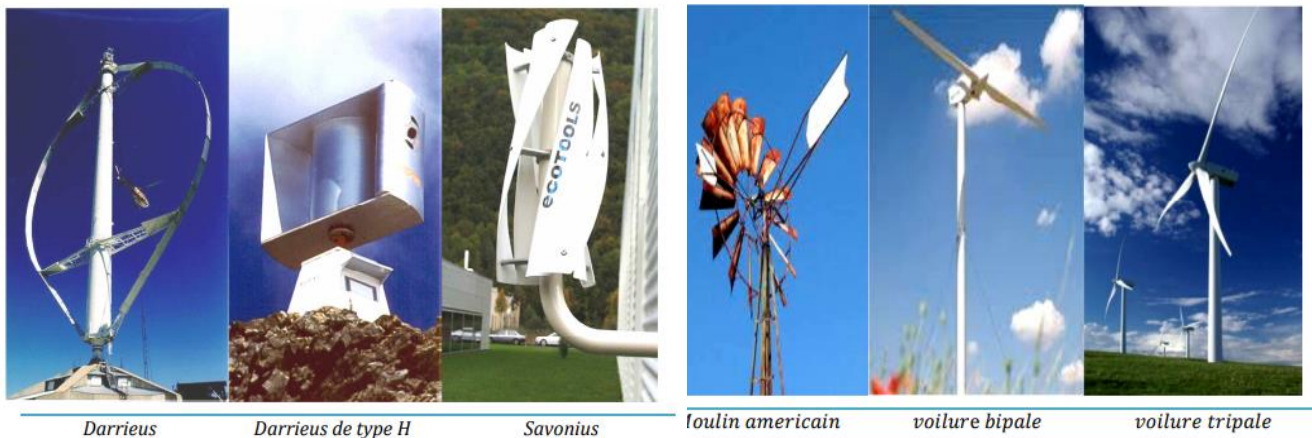


Figure V.20. Éoliennes à axe vertical à gauche et à axe horizontal à droite

Source : LATRECHE Mohammed Tahar ¹⁰³

¹⁰³ Latreche M.T., Commande Floue de la Machine Synchrone à Aimant Permanent (MSAP) utilisée dans un système éolien, Mémoire Magister en Électrotechnique, Université Ferhat Abbas de Sétif, 2012, <http://dspace.univ-setif.dz:8888/jspui/handle/123456789/2118>

b. Selon leur emplacement :

Une centrale éolienne, parc éolien, ou ferme éolienne, est un site regroupant plusieurs éoliennes produisant de l'électricité. Il se trouve dans un lieu où le vent est fort et/ou régulier.

- Dans la mer : milieu marin (champs ou parcs d'éolienne offshore) : la centrale éolienne en mer, appelée également centrale offshore a connu un développement considérable puisque grâce à la force et à la régularité supérieures du vent.
- Dans la campagne : milieu rural (champs ou parcs d'éolienne terrestre)
- Dans la ville : milieu urbain

c. Selon leur taille :

Il existe différentes classes de taille d'éoliennes. En théorie, il n'y a pas de relation directe entre la hauteur et la puissance de l'éolienne. En effet, cette puissance dépend essentiellement de la surface balayée par le rotor qui n'est pas toujours fonction de la hauteur de l'éolienne, mais du diamètre du rotor.

Dénomination	Diamètre du rotor [m]	Aire balayée [m²]	Puissance [kW]
Micro	0.5-1.25	0.2-1.2	0.1-0.4
Mini	1.25-3	1.2-7.1	0.4-2
Domestique	3-10	7-79	2-30
Petite commerciale	10-20	79-314	30-120
Moyenne commerciale	20-50	314-1963	120-750
Grande commerciale	50-100	1 963-7854	750-3 000
Géante commerciale	100-170	7 854-22 686	3 000-8 000

Figure V.21. Classification des éoliennes selon leur taille
Source : Energie plus¹⁰⁴

d. Selon le nombre de pales :

On peut faire une distinction entre les éoliennes suivant le nombre de pales. La figure suivante montre une comparaison entre des éoliennes avec un nombre de pales différent.

¹⁰⁴ Energie plus, Éolienne, <https://energieplus-lesite.be/techniques/eolien6/eoliennes/>

Nombre de pâles	1	2	3	4	5
Équilibre du rotor	–	–	+	+	+
Esthétique (effet de battement visuel)	–	–	+	+	+
Rendement aérodynamique	–	=	=	=	+
Bruit et fatigue	–	–	+	+	+
Tenue mécanique	+	=	=	–	–

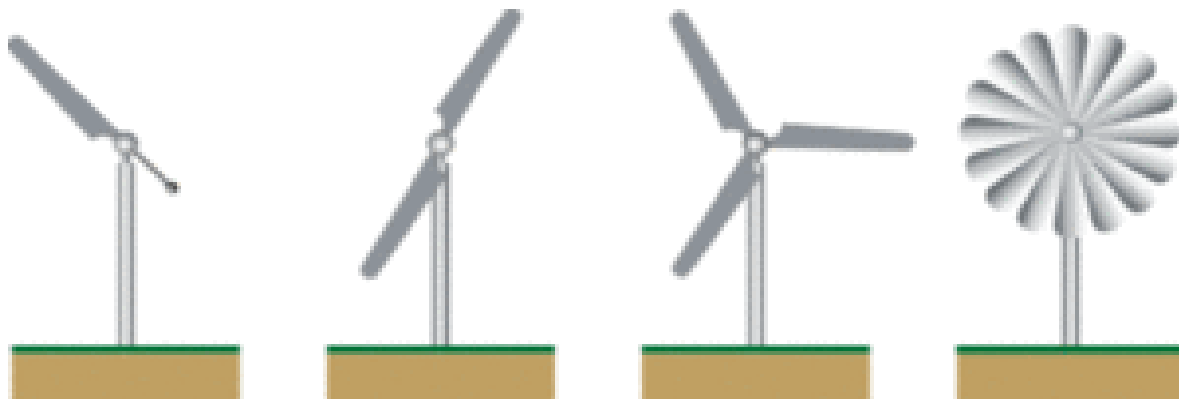


Figure V.22. Classification des éoliennes selon leur nombre de pales
Source : Energie plus¹⁰⁵

I.4. Types d'installations éoliennes :

Il existe deux utilisations principales pour ce type d'équipements :

- Les installations en site isolé non raccordé au réseau. L'énergie éolienne est alors « auto-consommée » par les occupants du logement.
- Les installations reliées au réseau électrique. La vente d'électricité est soit totale soit partielle.

Les éoliennes peuvent avoir un impact sur l'environnement humain (particulièrement important en milieu urbain) et naturel. Les éléments à prendre en considération dans le cadre de l'évaluation d'un projet sont : le bruit et les vibrations, la sécurité, l'ombre induite, l'impact visuel et l'impact sur la biodiversité.

¹⁰⁵ Idem



Figure V.23. Installation éolienne à injection partielle

Source : Dezatech¹⁰⁶

Conclusion :

Les énergies renouvelables jouent un rôle important dans la maîtrise à long terme de la facture énergétique. Elles permettent de relocaliser production d'énergie, en produisant et valorisant les ressources locales plutôt que d'utiliser des énergies fossiles.

L'architecture contemporaine offre des exemples d'intégration des énergies renouvelables tels que le photovoltaïque et l'éolienne dans la façade. Elles peuvent de ce fait devenir un élément architectural pivot, offrant au projet une image exceptionnelle.

¹⁰⁶ Dezatech, Energie Eolienne, <http://www.dezatech.com/applications/energie/energie-eolienne?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1>

Bibliographie

- Abcclim, Comment lire un schéma électrique ? <https://www.abcclim.net/lecture-schema-electrique.html>
- Adolphe L., Ambiances architecturales et urbaines, Editions Parenthèses, 1998
- Aldred C., 2018 Utah Valley Parade of Homes Recap, The creativity exchange, 2018, <https://www.thecreativityexchange.com/2018/06/2018-utah-valley-parade-of-homes-recap.html>
- Allotoiture, Tuile photovoltaïque, <https://www.allotoiture.com/tuile-solaire-photovoltaïque/>
- Angélique B., Conseils d'architecte : les règles de confort et de sécurité au niveau électrique, <https://www.deco.fr/photos/diaporama-electricite-regles-securite-confort-cuisine-salle-de-bains-salon-chambre-d-4272>
- Augoyard J.-F., Vers une esthétique des ambiances, Ambiances en débat, A la Croisée, France, 2004
- Blog.paris-prix, Suspensions | Comment bien choisir sa suspension ?, 2018, <https://blog.paris-prix.com/nos-univers/illuminez-votre-interieur/suspensions-comment-bien-choisir-sa-suspension>
- Bodart M., De Herde A., Guide d'aide à l'utilisation de l'éclairage artificiel en complément de l'éclairage naturel, pour un meilleur confort visuel et de substantielles économies d'énergie, Ministère de la Région Wallonne, 1999.
- Bornand M., Éclairer la ville autrement : Innovations et expérimentation en éclairage public, Delachaux et Niestlé, Paris, 2009
- Bouchier M., Lumières, Ousia, Bruxelles, 2003
- Boudon P., DESHAYES P., POUSIN F., SCHATZ F., Enseigner la conception architecturale : cours d'architecture, Les éditions de la Villette, Paris, 1994
- Bouffard I., Conception de bâtiments solaires : méthodes et outils des architectes dans les phases initiales de conception, Université Laval, Canada, 2013, <https://corpus.ulaval.ca/server/api/core/bitstreams/1efd4dd0-3518-4bfc-a74a-e09c10c1b941/content>
- Brussels, Capturer la lumière naturelle, Guide bâtiment durable, <https://www.guidibatimentdurable.brussels/assurer-confort-visuel-moyen-lumiere-naturelle/capter-lumiere-naturelle>
- Brussels, Limiter les gains solaires, Guide bâtiment durable, 2020, <https://www.guidibatimentdurable.brussels/limiter-charges-thermiques/limiter-gains-solaires>
- Cadiergues R., L'éclairage artificiel, Guide RefCad nR27.a, <https://media.xpair.com/auxidev/nR27a.pdf>
- Calvat G., "Les installations électriques", Éd. Alternatives, 2009
- Chaabouni S., Voir, savoir, concevoir une méthode d'assistance à la conception d'ambiances lumineuses par l'utilisation d'images références, Thèse de doctorat, institut national polytechnique de lorraine, Nancy, 2011
- Cherier M.K., L'Utilisation passive de l'énergie solaire dans les habitats de Ghardaïa, thèse de doctorat, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 2018, https://www.researchgate.net/publication/327562315_L%27utilisation_passive_de_l%27energie_Solaire_dans_les_habitats_de_Ghardaia

- Couillet R., Éclairage des espaces publics : projet, installation, maintenance, cout, Éd. Moniteur, Paris, 2014
- Croset J.M., L'architecture solaire se dessine, 2018, <https://www.tdg.ch/larchitecture-solaire-se-dessine-165704572239>
- Daich S., Simulation et optimisation du système light shelf sous des conditions climatiques spécifiques, Cas de la ville de Biskra, mémoire de magister, Université Mohamed Khider Biskra, 2011, <http://thesis.univ-biskra.dz/1126/>
- Deneyer A., D'Herdt P., Deroisy B., Roisin B., Bodart M., Deltour J., Centre Scientifique et Technique de la Construction, Guide pratique et technique de l'éclairage résidentiel, 2011, https://www.buildwise.be/umbraco/surface/publicationitem/downloadfile?file=31400/fr/unprotected/gui_de_pratique_et_technique_de_l_eclairage_residentiel.pdf
- Dezatech, Energie Eolienne, <http://www.dezatech.com/applications/energie/energie-eolienne?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1>
- Dubet A., Qu'est-ce que la lumière pour les architectes ? Archibooks + Sautereau éd, Paris, 2013
- Energie plus, Choisir la fenêtre comme capteur de lumière naturelle, <https://energieplus-lesite.be/concevoir/fenetres2/position-et-la-dimension-fenetre/choisir-la-fenetre-comme-capteur-de-lumiere-naturelle-d1/>
- Energie plus, Choisir la gestion et la commande, <https://energieplus-lesite.be/concevoir/eclairage3/choisir-la-gestion-et-la-commande/>
- Energie plus, Choisir les luminaires ; critères généraux, <https://energieplus-lesite.be/concevoir/eclairage3/choisir-les-luminaires/choisir-les-luminaires-criteres-generaux/>
- Energie plus, Déflecteurs de lumière naturelle, <https://energieplus-lesite.be/techniques/enveloppe7/composants-de-l-enveloppe/composants-divers/deflecteurs-de-lumiere-naturelle/>
- Energie plus, Détecteurs de mouvement et de présence/absence, <https://energieplus-lesite.be/techniques/eclairage10/commandes/gestion-en-fonction-de-la-presence/detecteurs-de-mouvement-et-de-presence-absence/>
- Energie plus, Ensoleillement, <https://energieplus-lesite.be/theories/climat8/ensoleillement-d8/>
- Energie plus, Éolienne, <https://energieplus-lesite.be/techniques/eolien6/eoliennes/>
- Energie plus, Gestion centralisée de l'éclairage, <https://energieplus-lesite.be/techniques/eclairage10/commandes/gestion-centralisee-de-l-eclairage/>
- Energie plus, Gestion en fonction d'un horaire, <https://energieplus-lesite.be/techniques/eclairage10/commandes/gestion-en-fonction-d-un-horaire/>
- Energie plus, Gestion en fonction de l'apport en éclairage naturel, <https://energieplus-lesite.be/techniques/eclairage10/commandes/gestion-en-fonction-de-l-apport-en-eclairage-naturel/>
- Energie plus, Light-shelf, <https://energieplus-lesite.be/techniques/enveloppe7/composants-de-l-enveloppe/composants-divers/light-shelf/>
- Energie plus, Zonage des commande, <https://energieplus-lesite.be/techniques/eclairage10/commandes/zonage-des-commandes/>

- Expo Habitat Mauricie, Luminaires et cuisine : hauteur et taille, 2021, <https://expohabitatmauricie.com/blogue/luminaires-et-cuisine-hauteur-et-taille/>
- Fernandez P., Approches méthodologiques et modes opératoires dans le processus de conception architecturale : Cognition et création : exploitations cognitives des processus de conception, MARDAGA, Belgique, 2002
- Floru R., Éclairage et vision, Notes scientifiques et techniques de l'INRS NS 149, Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS). 1996, <https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-01420151/document>
- Foamglas , <https://www.foamglas.com/fr-ch/applications-et-solutions/facades/solar/b-f-solar>
- Forster R., L'éclairage, Encyclopédie de sécurité et de santé au travail 3e édition française, <https://www.ilocis.org/fr/documents/ilo046.htm>
- Fundacion ICAI, Manuel de formation pour l'Installation et la Maintenance de petits systèmes photovoltaïques https://unmundosalvadorsoler.org/_Files/foro/Manuel%20Pratique%20de%20petits%20syste%CC%80mes%20photovoltai%CC%88ques.pdf
- Ganslandt R., HOFMANN H., Handbook of Lighting Design, ERCO Edition, Germany, 1992
- Geitmann S., Energie renouvelables et carburants alternatifs, de nouvelles énergies pour l'avenir, Hydrogeit-Verlag, 2007
- Gonzalo R., HABERMANN K., Architecture et efficacité énergétique : Principes de conception et de construction, Birkhäuser, Berlin, 2008
- Grégoire. F, Comment éclairer de manière efficace ? , Formation bâtiment durable ; Éclairage : conception et régulation, 2022, <https://environnement.brussels/media/7336/download?inline>
- Guedj M., "Électricité", Hachette, 2010, p 84-85
- Guide bâtiment durable, optimiser l'éclairage artificiel, 2013, <https://www.guidibatimentdurable.brussels/optimiser-leclairage-artificiel>
- Guide de l'éclairage, Vision : applications pratiques, 2022, <https://leclairage.fr/vision-applications-pratiques/>
- GuidEnR Photovoltaïque, Effet de l'inclinaison du champ photovoltaïque, http://www.photovoltaique.guidenr.fr/informations_techniques/conception-photovoltaique-raccordee-reseau/effet-inclinaison.php
- Guide-pratique, Concevoir un éclairage d'ambiance, https://www.vraimentbeau.com/vb_blog/guide-pratique/conception-generale-eclairage-choix-luminaires/
- IBGE (Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement, Rapport technique - Bâtiments exemplaires : Fiche 2.2 : La conception de l'éclairage artificiel dans les logements et les bureaux, 2010, https://document.environnement.brussels/opac_css/elecfile/IF%20RT%20BATEX%20Fiche2.2.%20Eclairage%20FR.pdf
- ICEB, "Les guides Bio-Tech, L'éclairage naturel", 2014 https://www.arec-idf.fr/fileadmin/DataStorageKit/AREC/Etudes/pdf/guide_bio_tech_eclairage_naturel.pdf

- Innovation24, Architecture et photovoltaïque : les nouveaux concepts, <https://www.innovation24.news/2020/02/07/architecture-et-photovoltaïque-les-nouveaux-concepts/>
- Interferenz, Le système lumière du jour Solatube, <https://www.interferenz.de/solatube.0.html>
- Koessler D., Lumière et architecture, PERSPECTIVES : Bulletin de l'actualité architecturale, paysagère et urbaine de Moselle, N°. 39, 2006
- Kolski C., Interfaces homme machine, Éditions Hermès, Paris, 1997
- Kujman P., a short film of light & shadow, 2020, <https://www.behance.net/gallery/100070353/Tadao-Ando-a-short-film-of-light-shadow>
- Latreche M.T., Commande Floue de la Machine Synchrone à Aimant Permanent (MSAP) utilisée dans un système éolien, Mémoire Magister en Électrotechnique, Université Ferhat Abbas de Sétif, 2012, <http://dspace.univ-setif.dz:8888/jspui/handle/123456789/2118>
- Le Comité des Experts, Solaire photovoltaïque, Connaissance des énergies, 2017, <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/solaire-photovoltaïque>
- Le guide de l'hébergement touristique durable, les principe de l'architecture bioclimatique, <http://hebergement-touristique-durable.lenord.fr/architecture-bioclimatique.html>
- Le guide de la maison, l'électricité, 2013, <https://www.le-guide-de-la-maison.com/electricite.html>
- Le moniteur, <https://www.lemoniteur.fr/photo/une-facade-entierement-equipee-de-stores-photovoltaïques-mobiles.636189/facade.1>
- Legrand, <https://www.legrand.fr/actualites/nf-c-15-100-ce-qu'il-faut-savoir-pour-l'installation-electrique-dune-salle-de-bains>
- leroymerlin.fr, <https://www.pinterest.fr/pin/1027313364975943385/>
- leroymerlin.fr, <https://www.pinterest.fr/pin/1070097561434590641/>
- Leroymerlin.fr, <https://www.pinterest.fr/pin/552042866835343412/>
- leroymerlin.fr, <https://www.pinterest.fr/pin/612419249362572974/>
- Leseclaireurs, la Grande Poste d'Alger, 2019, <https://www.leseclaireurs.net/realisations/la-grande-poste-alger>
- Limb L., Alotto E., Des panneaux solaires en déchets agricoles : de l'énergie sans lumière directe, Euronews, 2022, <https://fr.euronews.com/green/2022/06/22/panneaux-solaires-fabriques-a-partir-de-residus-de-culture-de-lenergie-sans-lumiere-direct>
- Linea Light Group, La lumière crée l'atmosphère, Office et culture, 2020, <https://www.office-et-culture.fr/produits/lumiere/la-lumiere-cree-latmosphere>
- Longechal, R., L'électricité et l'éclairage, Dunod, Paris, 2015
- ManoMano, Comment choisir un éclairage extérieur ? <https://www.manomano.fr/conseil/comment-choisir-un-eclairage-exterieur-2879>
- Martineau C., Éclairage escalier led – 30 idées modernes et originales, Deavita, 2015, <https://deavita.fr/design-interieur/eclairage-escalier-led-idees-modernes/>
- Medium.com, Mettre de la couleur dans votre intérieur, oui mais comment ? 2016 <https://medium.com/@GoodMorningDesign/de-la-couleur-20392f942e7b#.dyruwg5bf>

- Metatla S., Optimisation et régulation des puissances d'une éolienne à base d'une MADA, mémoire de magister de l' école nationale supérieure polytechnique d'Alger, 2009, <http://repository.enp.edu.dz/jspui/handle/123456789/6004>
- MonEnergie by systeme D, Comment rénover le réseau électrique d'une cuisine ? <https://www.systemed.fr/electricite/renover-reseau-electrique-cuisine,4987.html>
- Mypower.engie, Installation de panneau solaire : 8 schémas pour tout expliquer, 2023 <https://mypower.engie.fr/conseils/panneaux-solaires/panneau-solaire-photovoltaïque/schema-panneau-photovoltaïque.html>
- Narboni R., "Lumière et ambiances : concevoir des éclairages pour l'architecture et la ville", Le Moniteur, Paris, 2006
- Narboni R., La lumière urbaine : éclairer les espaces publics, Moniteur, Paris, 1995
- Parc-eolien-mont-des-quatre-faux, Comment ça marche ? <https://www.parc-eolien-mont-des-quatre-faux.fr/lenergie-eolienne/comment-ca-marche/>
- Particuliers, Participez au développement d'énergie renouvelable avec Parkosol, <https://particuliers.geg.fr/dossier/28/45-participez-au-developpement-d-energie-renouvelable-avec-parkosol.htm>
- Phillips D., Daylighting, Natural Light in Architecture, Architectural Press An imprint of Elsevier Linacre House, Oxford, 2004
- Plummer H., Architectes de la lumière, Hazan, Paris, 2009
- Reiter S., De Herde A., L'éclairage naturel des bâtiments, presse universitaire de Louvain, 2003.
- Roulet C., Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments, les presses polytechniques et universitaires romandes et école, Lausanne, 2004
- Roulet C., Éco-confort: pour une maison saine et à basse consommation d'énergie, presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 2012
- RSE, Plans implantation et exécution électrique, https://www.rse92.com/notre_expertise/rse-plan-execution-electrique/
- Sabetazad Y., Architectural Daylighting Tools: Light Shelves, 2022, <https://www.youtube.com/watch?v=4wkvrQu7lXY>
- Savard S., L'importance de la lumière naturelle en architecture, idinterdesign ,2017, <https://idinterdesign.ca/limportance-de-la-lumiere-naturelle-en-architecture/>
- Sok-Paupardin E, Comment évaluer les vues vers l'extérieur dans les bâtiments ? 2020, <https://www.sageglass.com/fr/industry-insights/comment-evaluer-vues-lexterieur-batiments>
- Solaire-offgrid , Les différentes architectures du solaire photovoltaïque, <http://www.solaire-offgrid.com/le-solaire-et-ses-applications/architectures-solaire-photovoltaïque/>
- Solarmarkt, <https://www.solarmarkt.ch/fr/services/pour-les-maitres-d-ouvrage/configurateur-d-abri-de-voitures>
- Somabe, Photovoltaïque Pour Site Isolé, <https://somabe.com.tn/nos-services/photovoltaïque-pour-site-isole/>
- Tir Z., Contribution à l'Étude d'un Aérogénérateur Asynchrone en Cascade, mémoire de magister, Université d'El Oued, 2010, https://www.researchgate.net/figure/1-Principaux-organes-du-système-de-conversion-eolien-Lenergie-eolienne-est-une-energie_fig1_265087995

- Tixier N., Morphodynamique des ambiances construites, École polytechnique de l'Université de Nantes, CRESSON, Grenoble, 2001
- Université Catholique de Louvain, l'éclairage naturel des bâtiments, Guide : le confort visuel, https://sites.uclouvain.be/eclairage-naturel/guide_confort.htm
- Valcucine, L'éclairage artificiel de la cuisine, <https://www.valcucine.com/fr/plans/lumiere/eclairage-artificiel-dans-la-cuisine/>
- Vitruve, "Les dix livres d'architecture de Vitruve", Claudius Perrault and André Dalmas (translator), Errance, Paris, 1986
- Wikipedia, https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Fichier:Torre_Agbar_illumin%C3%A9_par_Yann_Kersal%C3%A9.jpg
- Wordpress, La lumière au sein de la tour, un enjeu d'avenir, <https://grattecieltp.wordpress.com/2-leclairage-au-sein-de-la-tour-un-facteur-de-bien-etre/>
- Zumthor P., Atmosphères, Birkhäuser, Berlin, 2008
- Zumtobel, La lumière pour les façades et l'architecture, https://www.zumtobel.com/PDB/teaser/FR/AWB_Fassade_und_Architektur.pdf

Les figures qui suivent sont tirées du livre "Les installations électriques" de son auteur Gérard Calvat¹⁰⁷.

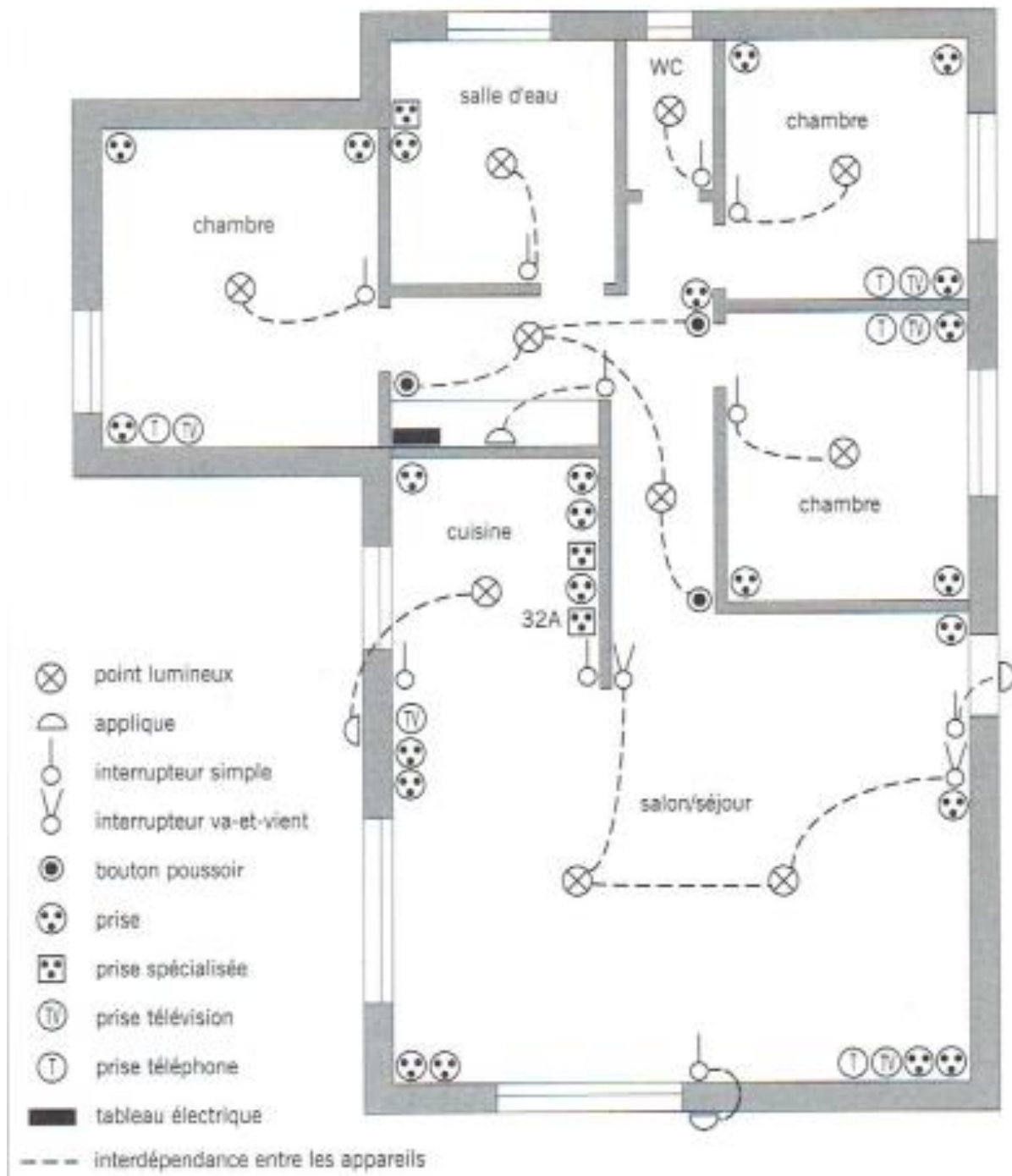


Figure.1. Exemple de plan d'installations électriques

¹⁰⁷ Calvat G., "Les installations électriques", Alternatives, 2009

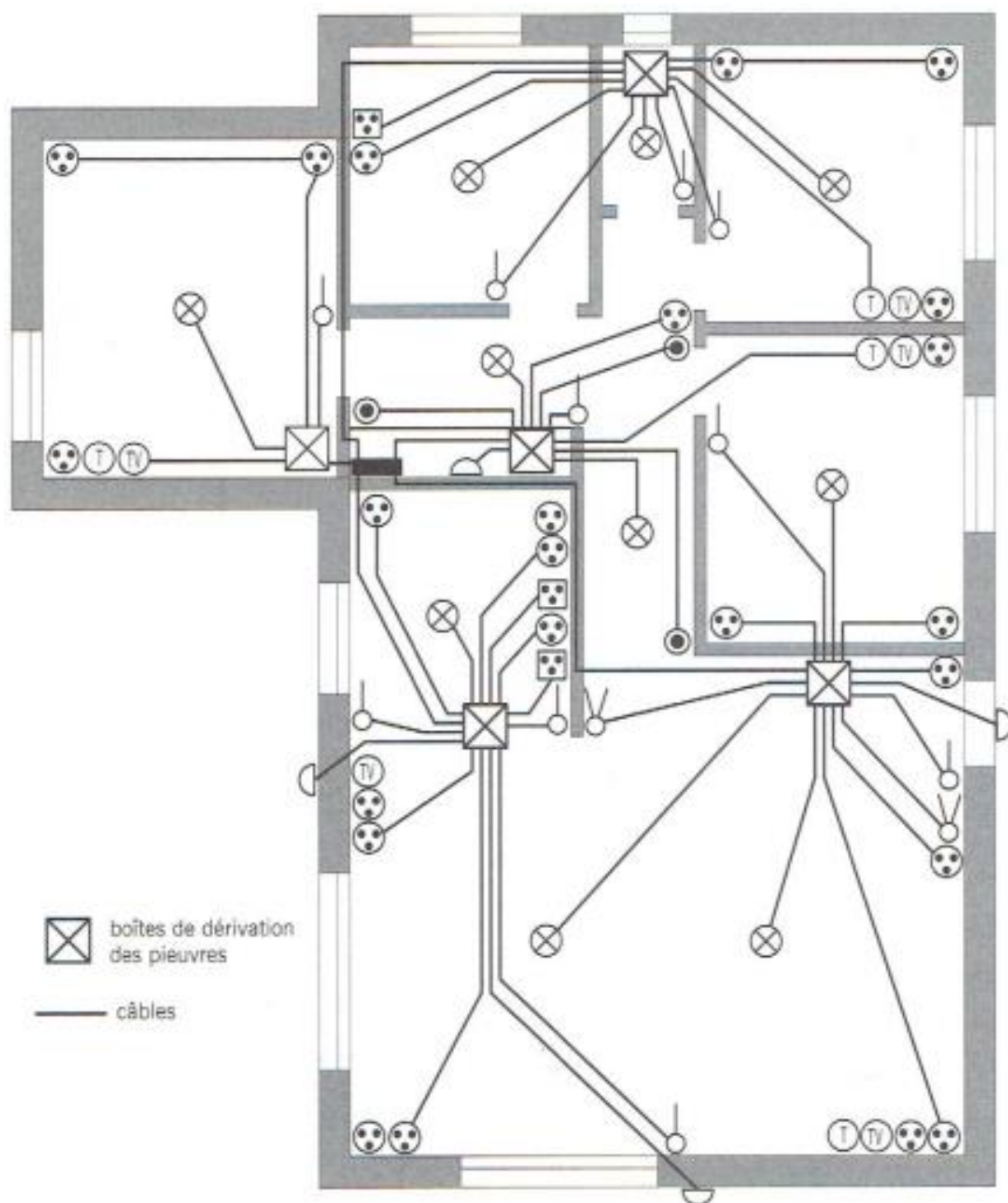


Figure.1. Exemple de plan des pieuvres

Schéma architectural de deux prises de courant

Schéma unifilaire de deux prises de courant

Schéma multifilaire de deux prises de courant

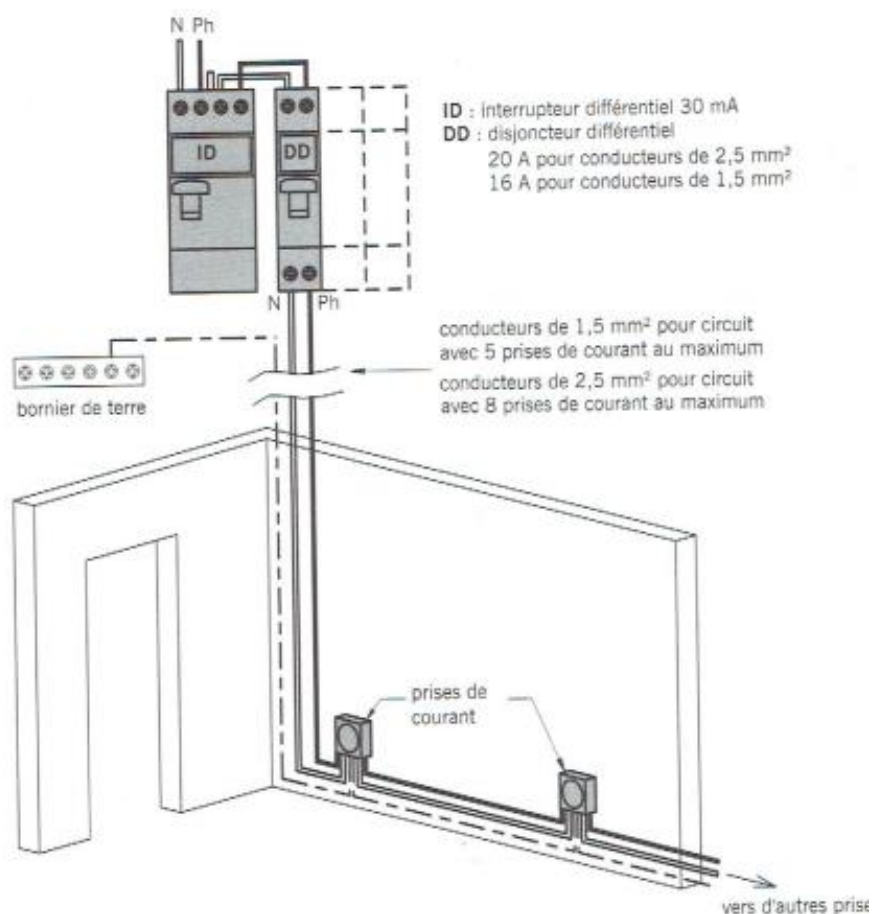
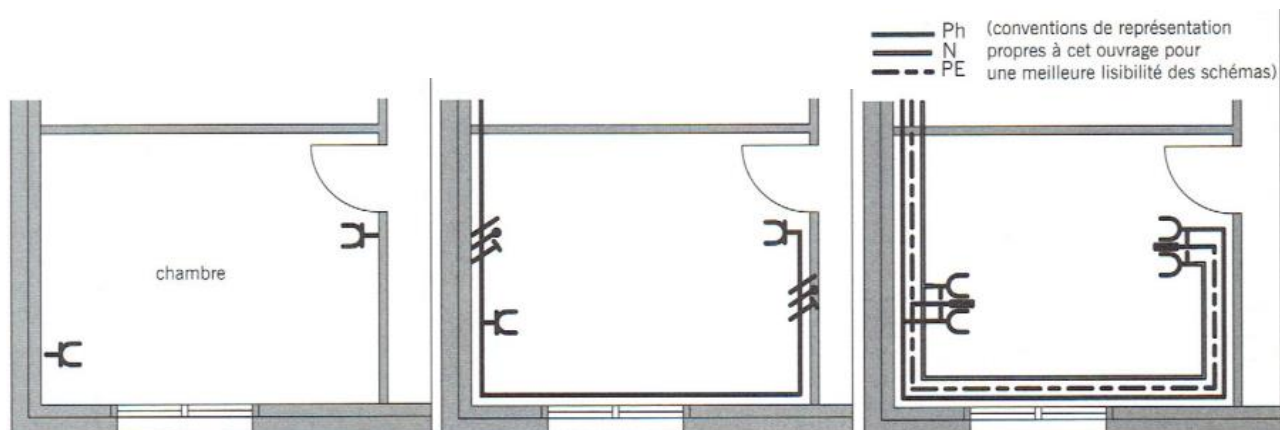


Figure.2. Exemple d'installation de deux prises de courant

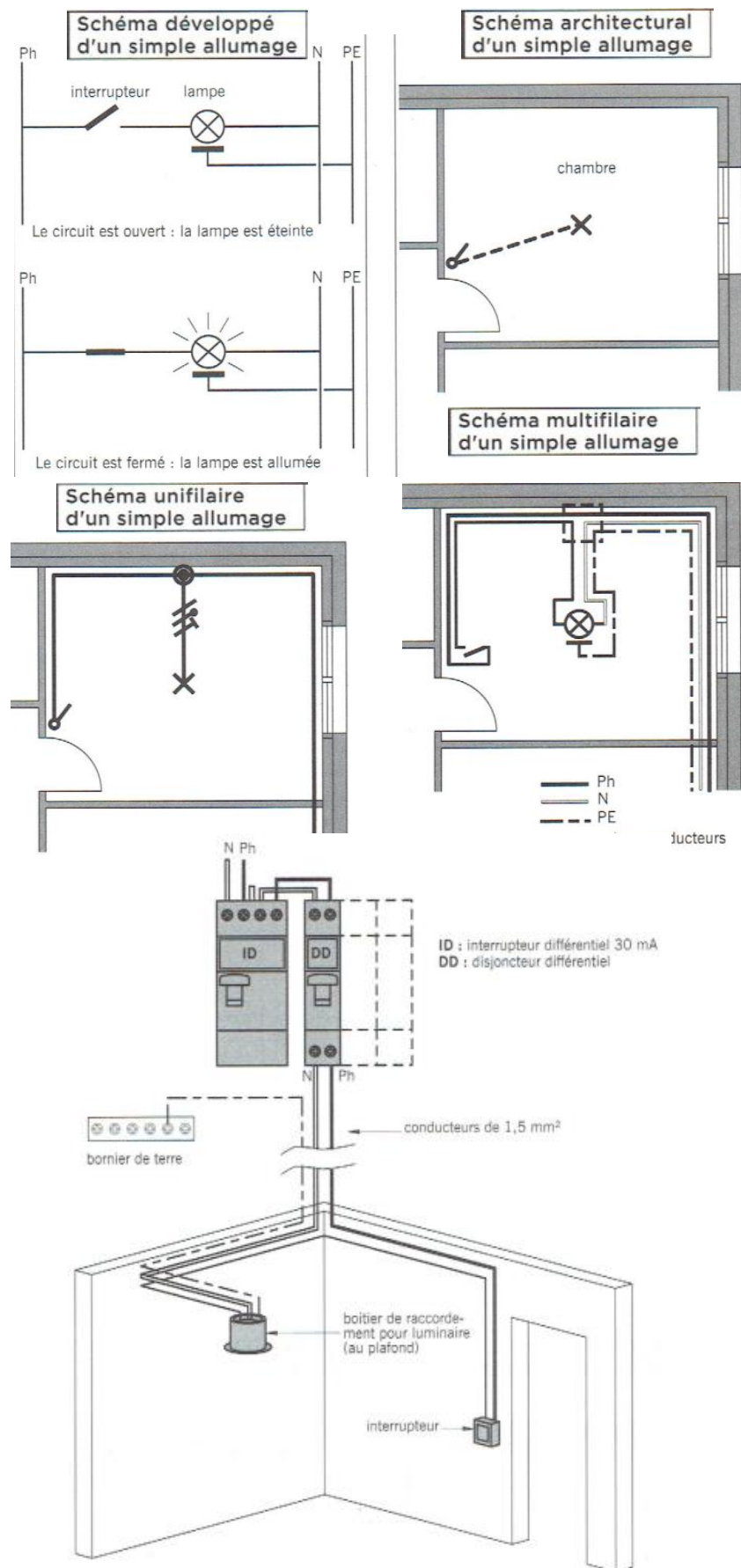


Figure.2. Exemple d'installation d'un simple allumage

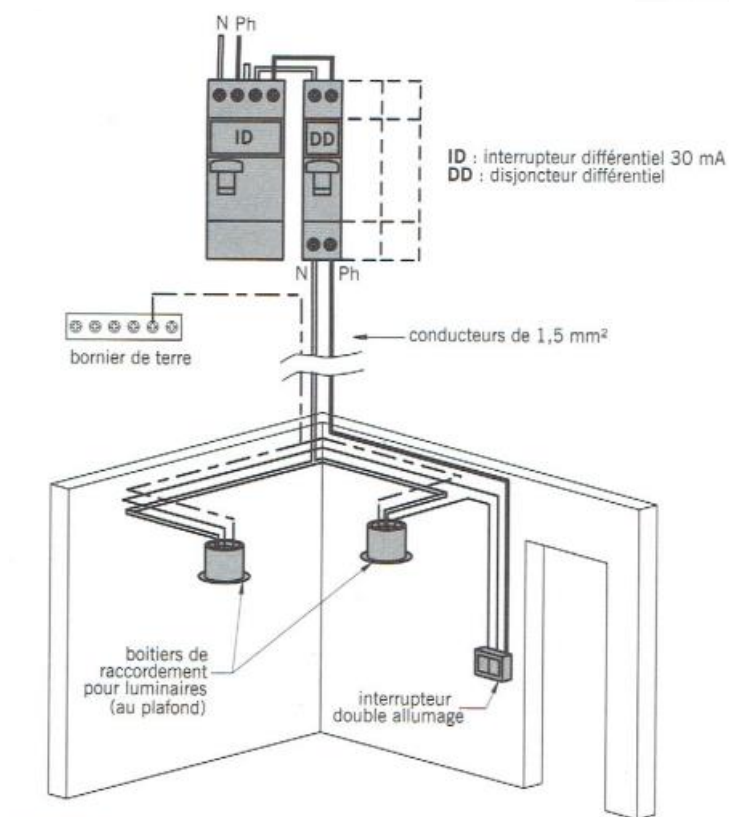
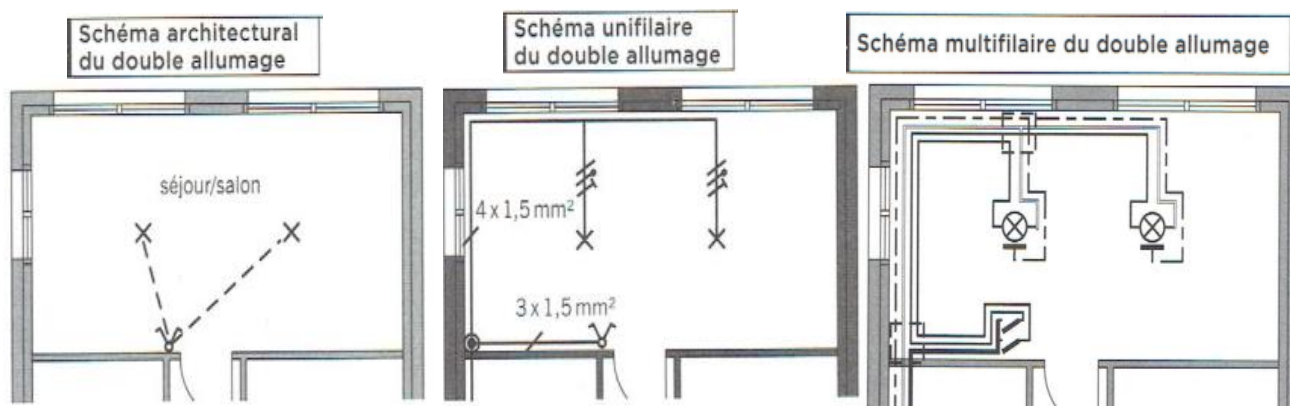
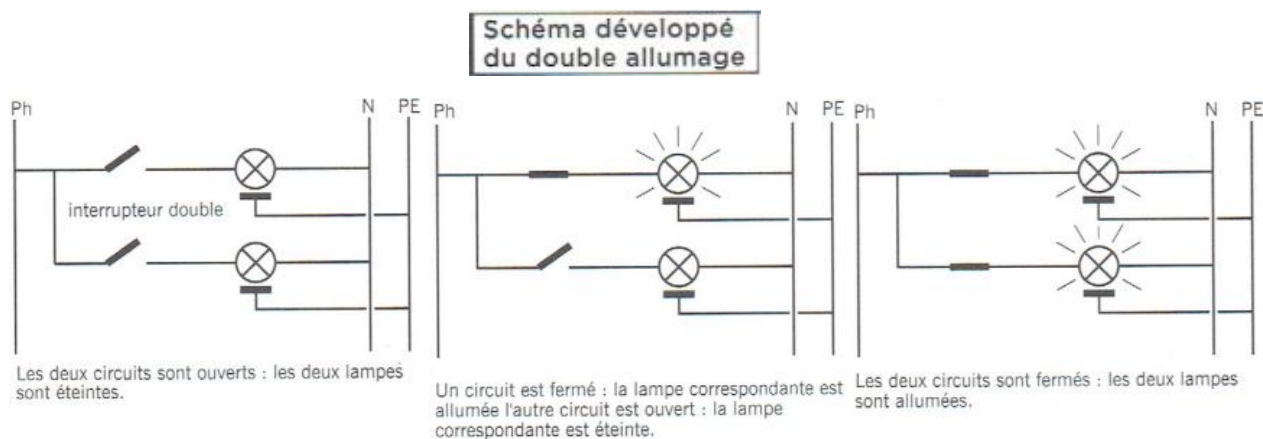


Figure.3. Exemple d'installation d'un double allumage

Schéma développé d'un va-et-vient

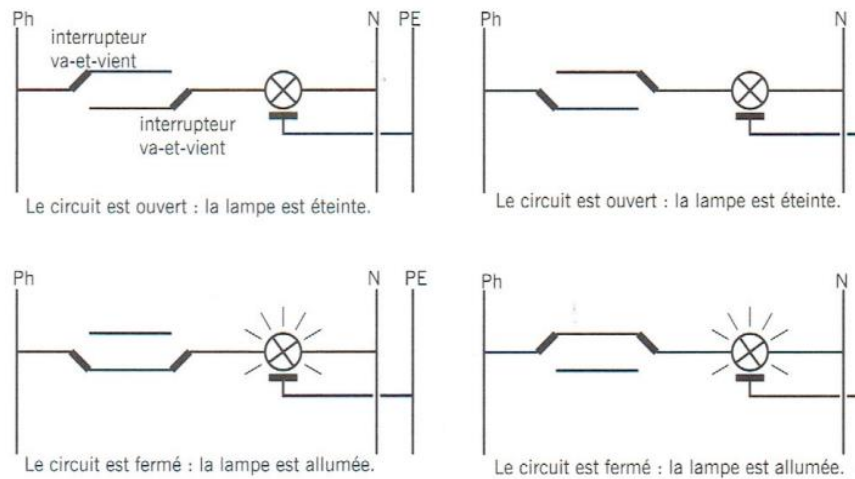


Schéma architectural d'un va-et-vient

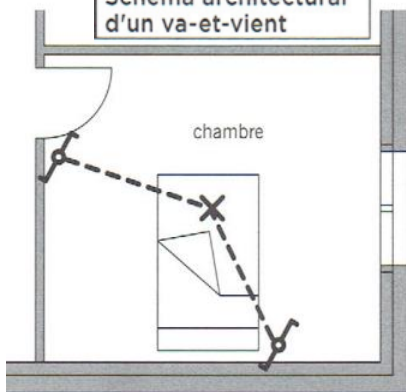


Schéma unifilaire d'un va-et-vient

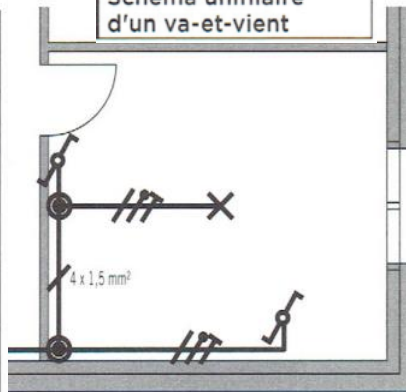


Schéma multifilaire d'un va-et-vient

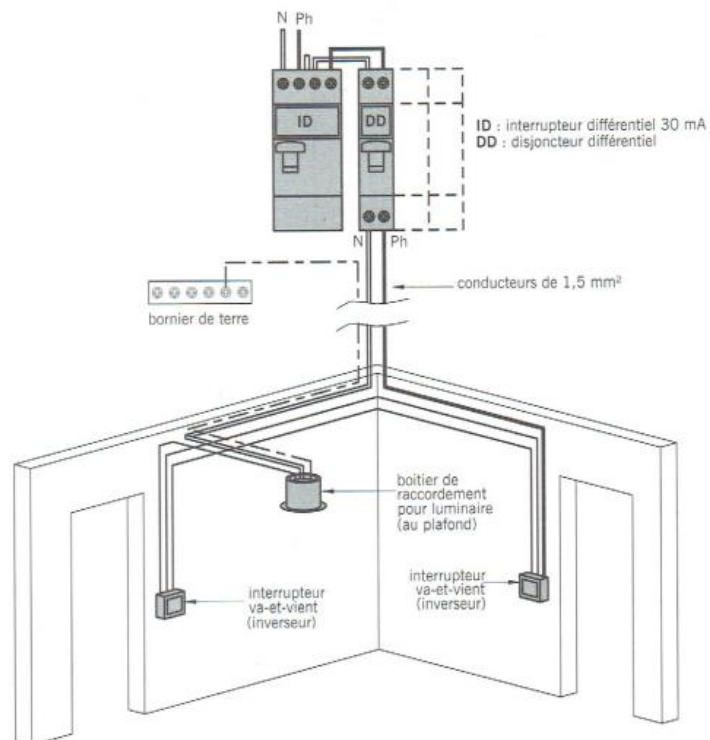
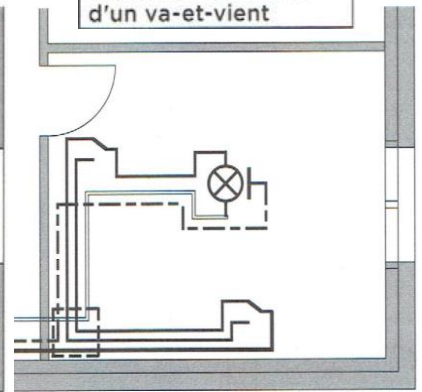


Figure.4. Exemple d'installation d'un va-et-vient