



HAL
open science

MEP : mécanique, électrique, plomberie

Jérôme Lansdorff

► **To cite this version:**

Jérôme Lansdorff. MEP : mécanique, électrique, plomberie. Architecture, aménagement de l'espace. 2017. dumas-01807061

HAL Id: dumas-01807061

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01807061>

Submitted on 4 Jun 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Copyright

Jérôme LANSDORFF

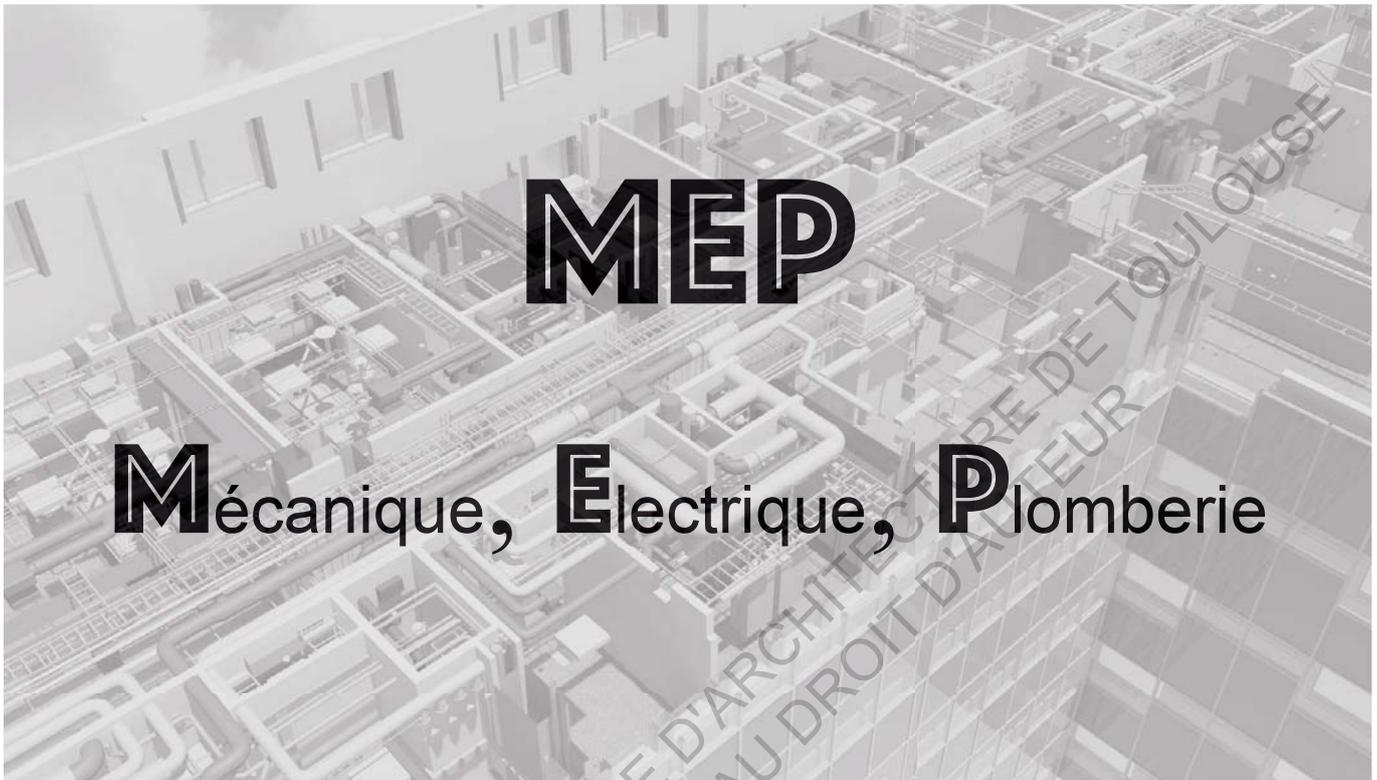


Figure 01: Installation MEP dans un bâtiment

Mémoire de Master 1: "Architectures numériques et paramétriques "
Spécialité : Building Information Modeling (BIM)

Composition du Jury :

- **Sandra MARQUES**, Architecte (UPFE Brésil), Master en architecture (USP Brésil),
- **Jean-Pierre GOULETTE**, Architecte DPLG, Ingénieur CNAM (informatique), Docteur de l'Université Paul Sabatier (informatique),
- **Bernard FERRIES**, Docteur de 3^e cycle en mécanique des fluides.

Mémoire encadré sous la direction de Monsieur B. FERRIES et Monsieur J.-P. GOULETTE.

Année universitaire 2015-2016

École nationale supérieure d'architecture de Toulouse _83 rue Aristide-Maillo1 _BP 10629 _31106 Toulouse cedex 1
Tél. : 33 (0)5 62 11 50 50 _Fax : 33 (0)5 62 11 50 99 _Courriel : ensa@toulouse.archi.fr _Site : www.toulouse.archi.fr

Établissement public décret 81.333 du 6-4-81 _N° siset : 193 101 508/00011 _Code ape : 9215

I. Remerciements

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma reconnaissance. Je souhaite avant tout remercier mes référents de mémoire Monsieur Bernard FERRIES et Monsieur Jean-Pierre GOULETTE pour l'enseignement de qualité dispensé lors du Master "Architectures numériques et paramétriques". Le choix de ce séminaire a également su nourrir mes réflexions. Il a représenté une profonde satisfaction intellectuelle et personnelle et je remercie de nouveau mes enseignants-chercheurs.

J'aimerais exprimer ma gratitude à Madame Isabelle Fortuné, maître-assistante des ENSA de Toulouse, pour ses conseils et avis sur le sujet. Mes remerciements iront également à Monsieur Michel Belmas pour la transmission de son savoir au travers de ses enseignements sur les risques incendies, cours qui ont pu se croiser lors de ce mémoire.

Je remercie également la société Legrand pour les informations transmises concernant l'historique de l'entreprise. J'adresse également un grand remerciement à Madame Nathalie Maraval, assistante du groupe Afnor Occitanie du site de Toulouse. Ses renseignements m'ont permis d'éclaircir le rôle et le positionnement du groupe Afnor envers les organismes certificateurs.

Pour finir j'adresse un remerciement aux personnes qui ont pris le temps de discuter avec moi de mon sujet. Chacun de ces échanges m'a aidé à faire avancer mon analyse. Un grand merci à ma compagne qui m'a apporté son soutien également pour son aide précieuse en acceptant de relire ce mémoire.

Sommaire

I. Remerciements	2
Sommaire.....	3
II. Introduction	5
III. Prémices, évolution et analogie	6
A. Les prémices des MEP.....	6
1. Mécanique (CVC).....	6
2. Électrique	8
3. Plomberie	11
B. Évolution des techniques et des matériaux	13
1. Mécanique (CVC).....	13
2. Électrique	18
a. Le transport	18
b. Le logement.....	22
3. Plomberie	32
C. Distribution, intégration et analogie au logement.....	40
1. Distribution et intégration au logement.....	40
2. Analogie au corps humain.....	42
D. L'essentiel	44
IV. État des lieux	45
A. Comprendre le sujet	45
B. Normes	47
1. Mécanique (CVC).....	49
2. Électrique	51
3. Plomberie	53
C. MEP et Architecture.	55
1. Mécanique.....	55
2. Électrique	59
3. Plomberie	70
D. BIM, Niveaux de Développements et Logiciels.	73
1. BIM.....	74
2. Les niveaux de développements.....	75
3. Logiciels	83

E. L'essentiel	86
V. Les perspectives	87
A. Vers un bâtiment 2.0	87
B. Une vision plus large (CIM)	91
VI. Conclusion	94
VII. Bibliographie	96
Ouvrage :	96
Sites web et articles sur site :	96
Générale	96
Mécanique (CVC)	96
Electricité	97
Plomberie	97
Analogie	98
Rapports :	98
Source des images :	98

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

II. Introduction

Le MEP ?!? Un trigramme un peu barbare ! Il correspond à l'abréviation de Mécanique, Electrique et Plomberie. Pour faire simple, ce sont les éléments présents dans nos logements que nous ne voyons pas forcément, que nous ne voulons pas voir ou que nous considérons comme naturels, faisant partis des "meubles". Pourtant ils sont bien utiles, voire indispensables et améliorent grandement notre quotidien.

C'est par l'expérience de mon ancienne vie de chantier que j'ai eu l'idée et l'envie de traiter ce sujet. Mon objectif est de réaliser ici une première ébauche de ces mondes souvent méconnus et partiellement abordés dans nos d'études d'architecture. C'est donc sur ce thème, et au travers de ce mémoire, que je vais tenter d'une part donner une vision d'ensemble de cette branche, et d'autre part, de savoir à quel niveau les MEP peuvent influencer l'architecture ?

C'est avant tout un regard sur nous-même que je propose. Il est de notre rôle de prévoir tous ces éléments dans la conception de nos futurs projets et leurs assurés une fonctionnalité totale. Ce domaine est aussi un monde d'obligations et il demande le respect de normes. C'est en cela que je me demande si nous devrions tout savoir des autres corps d'état ? Et même si nous devrions disposer d'un diplôme dans chaque branche que nous avons sous notre responsabilité ? Les futurs professionnels que nous aurons en face de nous, attendront des réponses biens précises de notre part.

Tout comme le projet, la représentation graphique de ces éléments à également son importance. Il est important de savoir à quel moment nous devons intégrer ces éléments et quelle limite de représentation devons-nous leur donner ?

Le monde du bâtiment connaît actuellement un grand bouleversement avec l'introduction de nouveaux outils de travail. L'innovation de cet outil soulève également une autre vision sur la méthode de travail des MEP. L'avancée technologique est également présente et inéluctable dans notre métier, c'est à cela que je propose un parcours en trois temps sur ce thème (passé, présent, futur). Depuis quand sont arrivés les MEP ?

III. Prémices, évolution et analogie

A. Les prémices des MEP

1. Mécanique (CVC)

Instrument très prisé sous l'antiquité, l'éventail a été inventé par les chinois. Loin d'être le premier instrument à vent, il permet de produire un courant d'air rafraîchissant dans les régions surchauffées de l'orient.



Figure 02: Éventail esquissant le mont Fuji.

Dans le même esprit, les "Badgirs" ou "tour à vent" réalisent, par tirage, une ventilation naturelle dans les logements. Présents dans les édifices persans depuis des siècles, et associée à une "Yakhchal", ils permettent même la conservation de la glace dans des conditions de chaleur extrême, réalisant une des premières "climatisation".

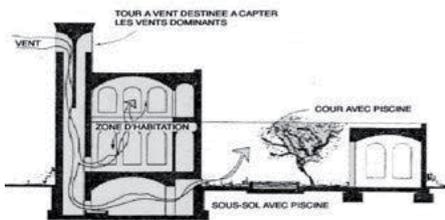


Figure 03: Tour à vent

Mais c'est avec l'invention des premiers modes d'habitats que se pose la vraie question de la ventilation. Comme nous le savons tous, les premières civilisations ont eu comme premier logement des grottes. Avec la découverte du feu, et contrairement aux idées reçues, les occupants ne faisaient pas de feux à l'intérieur. La fumée dégagée par le foyer aurait assurément provoqué la mort de ses occupants. C'est pour cela que le foyer était positionné à l'entrée de la grotte. Cela permettait de

bénéficier de la chaleur produite par le brasier, de profiter de protection envers les animaux sauvages et d'éviter de finir ses jours asphyxié.

La cheminée ou le trou ménagés au-dessus d'un foyer, sont sûrement les appareils de ventilation les plus communs et le plus primitifs. Ils ont été utilisés dans toutes les constructions du monde. À ces débuts, l'habitat n'était pas du tout étanche et les jeux de pression assurés une bonne ventilation hors et dans le bâtiment. Le principe de circulation d'air à l'intérieur était plus probant que celui de ventilation. Il faudra attendre le XV^e siècle pour voir apparaître les premiers verres à destination de l'architecture. Même si le verre était connu depuis 100 000 av. J.-C., dans la Rome antique et jusqu'au Moyen Âge, les fenêtres étaient juste pourvues de volets.

C'est dans les contrées glaciales que la nécessité de se protéger du froid et de retenir la chaleur oblige à trouver des solutions. Pour éviter les pertes thermiques le verre apportera une grande évolution. Il n'est ainsi plus nécessaire de laisser ouvert pour faire entrer la lumière et le froid trouve une première barrière. D'une manière générale les

¹ Yakhchal : est un réfrigérateur naturel ancien disponible sur : <<https://fr.wikipedia.org/wiki/Yakhchal>>

habitations iront vers une plus grande étanchéité à l'air et nous verrons apparaître l'association de la ventilation et du chauffage même si les deux termes sont antinomiques.

Ce n'est que vers le XVIII^e siècle que la ventilation des logements devient une science. Cette nouvelle discipline se penchera d'abord sur des lieux où la nécessité se faisait sentir : mines, navires, prisons, casernes et enfin hôpitaux.

Historiquement les premières traces écrites remontent à -460 ans av. J.-C.. C'est Hippocrate qui fait mention de la première ventilation artificielle. Cette idée est née lors d'une épidémie à Athènes et restera encore appliquée au XIX^e siècle. Le concept consiste à faire brûler des foyers sur les places publiques pour éliminer les miasmes aériens et provoquer un courant d'air dans l'atmosphère ambiante, mais cela exigeait une masse énorme de combustible et n'agissait que sur des surfaces très restreintes.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

2. Électricité

Même si l'électricité existe depuis les débuts de l'univers, elle n'a été maîtrisée que récemment. À l'état naturel elle reste très discrète, mais parfois elle se manifeste de manière très spectaculaire et brutale tels que les éclairs (tonnerre avec parfois destructions). Il est clair que nous pouvons tous considérer l'électricité comme une invention qui révolutionna notre monde et étrangement nous la devons en partie grâce à celle du feu découverte -350 000 ans avant notre ère.

Lorsque la foudre frappe le sol ou un autre élément, elle crée parfois du feu. C'est alors que les hominiens² se sont emparés de cet élément et l'ont conservé. Il faut voir en cela la première course à la maîtrise de l'énergie. Et l'électricité en fait partie. Cette maîtrise du feu permettra, au fil des siècles, la création d'outils, d'armes, la domestication des animaux, la gestion de l'eau et de la vapeur.

Néanmoins, il faut attendre -600 ans av. J.-C. pour que Thales³ fasse une première observation avec une pierre naturelle : l'ambre jaune. À celle-ci, il frotte une peau de mouton et en obtient de l'électricité statique. Mais pour le moment le mot électricité n'est pas à l'ordre du jour et il reste encore de nombreuses étapes avant d'arriver là où nous en sommes.

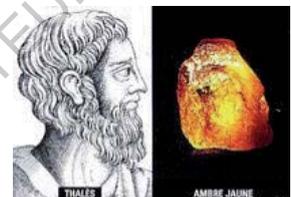


Figure 04: Thales et l'ambre jaune

C'est vers 1600 ans apr. J.-C., avec William Gilbert⁴, que les premières théories voient le jour. Il assimile la Terre à un gros aimant. Son étude sur les boussoles lui permettra d'expliquer les pôles Nord et Sud et invente ainsi le mot "électrique".

Cette étape charnière dans le monde de l'électricité amènera de grands bouleversements. Il faudra outrepasser nos peurs millénaires qui coulent dans nos veines en surpassant nos superstitions. Par le passé les éléments naturels violents et dévastateurs étaient attribués à des divinités. Dans la Grèce Antique, par exemple, la foudre était assimilée à l'arme de destruction du Dieu Zeus.

En 1732, l'anglais Stephen Gray⁵ découvre l'électrisation par influence, c'est-à-dire la possibilité d'électriser un corps à distance, sans contact direct, ainsi que la distinction entre corps conducteurs, qui transmettent l'électricité, et corps isolants, qui inhibent cette transmission.

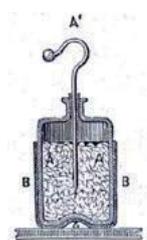


Figure 05: Bouteille de Leyde.

En 1745, c'est l'invention de la "bouteille de Leyde" qui révolutionna l'univers de l'électricité. Cette dite bouteille est tout simplement l'ancêtre du

² ... "déjà humain mais pas tout à fait homme", extrait du documentaire "RMC Découverte" disponible sur: <<https://www.youtube.com/watch?v=oPfk7Q-J9e8>>

³ Philosophe et savant grec.

⁴ Premier médecin de la reine Élisabeth I^{re} puis de Jacques I^{er} se révèle aussi physicien. Véritable chercheur scientifique qui découvre et publie des lois relatives au magnétisme et à l'électricité.

⁵ Teinturier britannique plus connu pour ses travaux en astronomie et en physique.

condensateur que nous connaissons actuellement (principe de charge et de décharge d'énergie). Elle fut réalisée par Ewald Von Kleist dans la ville de Leyde aux Pays-Bas. La première application de ce condensateur était de divertir lors des foires. Le but était de donner des commotions (chocs électriques ou électrisations) au public. Par la suite elle a été détournée dans le monde médical pour soigner les déficients mentaux.

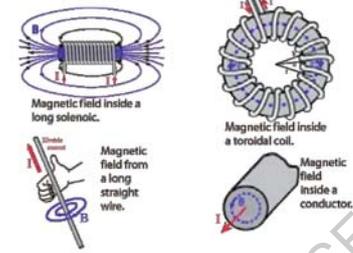


Figure 06: Le magnétisme par André-Marie Ampère

En 1752, Benjamin Franklin⁶ considère la foudre comme un phénomène électrique et invente le paratonnerre. Il requalifie la découverte du savant français Charles Du Fay de 1733, sur le fait qu'il existait deux sortes "d'électricités". L'une obtenue en frottant du verre, qu'il appela électricité vitreuse, l'autre obtenue en frottant des corps résineux, qu'il appela électricité résineuse. Deux corps porteurs "d'électricités" de même nature se repoussent, et deux corps porteurs "d'électricités" différentes s'attirent. Pour cette raison, Benjamin Franklin les rebaptisa quelques années après : "électricités positive et négative".

Vers 1781, Luigi Galvani⁷ réalise des expériences électriques sur des cuisses de grenouilles. Elles sont mises en contact avec différents métaux et traversées par une décharge pour mettre en évidence un phénomène de contraction des muscles de l'animal. Cette expérience montre pour lui qu'il existe deux sortes d'électricité : "animale" et "naturelle".

En 1799, Alessandro Volta⁸ invente le premier générateur électrique, autrement dit, la pile. En empilant alternativement des disques de métaux différents (cuivre, zinc) séparés par des disques de carton imbibés de saumure, un courant circule de manière permanente. C'est la pile voltaïque. Napoléon, grandement impressionné du travail fourni, le nomme alors Comte et lui attribue des subventions pour ses recherches.

En 1820, André-Marie Ampère⁹ apporte la notion de courant électrique et la certitude du lien entre électricité et magnétisme. Il met en place une nouvelle discipline "l'électrodynamique" que l'industrie s'empressera de s'approprier (création de moteurs et des usines électriques qui alimenteront des villes entières). Cette avancée dans le monde de la science va encore plus loin et débouche sur une nouvelle branche : la communication. André-Marie Ampère eut alors la brillante idée du télégraphe.

En 1838, ce sont les Anglais qui mettront en pratique cette idée. Le physicien Charles Winston met en service la première ligne de télégramme de 150 kilomètres entre Londres et Birmingham. Deux ans plus tard, Samuel Morse invente le morse. C'est une nouvelle étape qui vient d'être franchie, celle du transport de l'énergie et de réseaux.

⁶ Imprimeur, éditeur, écrivain, naturaliste, inventeur et homme politique américain.

⁷ Physicien et médecin italien.

⁸ Comte et physicien italien.

⁹ Mathématicien, physicien, chimiste et philosophe français.

C'est Thomas Alva Edison¹⁰, en 1879, qui va révolutionner le monde de l'habitat. Avec toutes ses inventions la plus remarquables est celle de la lampe électrique à incandescence. Elle vient bouleverser le mode de vie de la terre entière. Sécurité (éclairage espaces publics), hygiène (recule des maladies), le monde du travail (plages horaires de nuit), tous les domaines vont en être impactés. L'éclairage va être déployé de manière intensive dans les rues des trois "capitales de la lumière" qui sont Londres, New-York et Paris. Paris prendra le titre de "ville lumière".

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

¹⁰ Inventeur, scientifique et industriel américain.

3. Plomberie

L'eau c'est la vie, et elle est intimant liée à l'histoire des hommes. C'est au début du néolithique, vers 9 000 ans avant Jésus-Christ (av. J.-C.), qu'apparaissent les prémises de la gestion de transport de l'eau. Nous pouvons peut-être voir en cela l'ancêtre de nos actuels MEP. Il faut préciser que cette nécessité de gestion de l'eau passe avant tout par le phénomène de sédentarisation.

C'est en Egypte, vers 8 000 ans av. J.-C., que nous trouvons les premières traces des civilisations sédentaires. Naturellement elles se concentrent dans un premier temps près des fleuves (en l'occurrence le Nil). Il est donc évident, pour la population qui vit plus dans les terres, que la recherche de points d'eau ou de sources souterraines a toujours

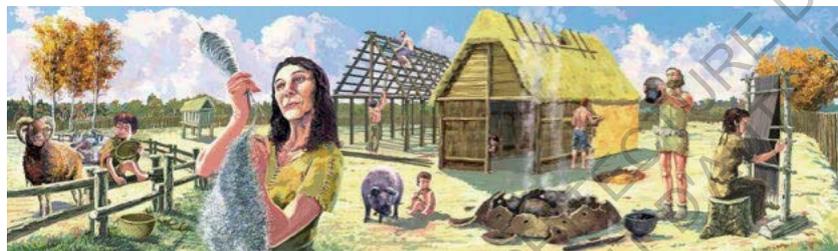


Figure 07: Phénomène de sédentarisation et ses conséquences.

été une préoccupation constante pour sa survie. Cette étape marque les prémices de l'agriculture maîtrisée et donc de la gestion de l'eau et de son transport. Lorsque la population humaine a commencé à s'agrandir intensément, les approvisionnements en eau n'étaient plus suffisants. L'eau potable devait être extraite depuis différentes sources.

La ville de Mohenjo-Daro (Pakistan), vers 3000 av. J.-C., s'approvisionnait énormément en eau. Elle maîtrisait les bains publics avec eau chaude et les salles de bains.

Toujours avec le même principe d'expansion de population, la Grèce Antique (de 2700 à 1200 av. J.-C. pour ces plus belles années de règne), a commencé à utiliser très tôt l'eau de source, l'eau de puits et l'eau de pluie. Les Grecques ont donc été forcés de développer le système de stockage de l'eau dans des puits et de la transporter à la population par l'intermédiaire d'un réseau de distribution. L'eau utilisée était emportée dans les égouts avec l'eau de pluie. Les Grecques furent les premiers à s'intéresser à la qualité de l'eau. Ils utilisaient des bassins aérés pour la purifier.



Figure 08: Expansion de l'Empire

École nationale supérieure d'architecture de Toulouse _83 rue Aristide-Maillo1 _BP 10629 _31106 Toulouse cedex 1
Tél. : 33 (0)5 62 11 50 50 _Fax : 33 (0)5 62 11 50 99 _Courriel : ensa@toulouse.archi.fr _Site : www.toulouse.archi.fr

expliquer cette perte ou cet oubli volontaire de leur savoir.

Malgré cela, l'Empire romain s'est agrandi au point d'englober un vaste territoire. Outre la grandeur politique, culturelle, économique, linguistique et religieuse apportée à cet Empire, ces conquêtes romaines auront aussi permis de faire ressortir le savoir de la civilisation grecque antique.



Figure 09: Le pont du Gard

Avec ce savoir antique, les Romains furent les plus grands architectes et constructeurs de réseaux de distribution d'eau. Ils s'approvisionnaient en eau grâce aux rivières, aux sources ou aux eaux souterraines. Ils ont construit des barrages afin de former des lacs et avoir ainsi des points d'eau artificiels. Rappelons que les Egyptiens ont inventé le barrage. L'eau des lacs était aérée par des systèmes de bassins puis fournie à la population. La notion de qualité de l'eau était primordiale pour les Romains. L'eau de montagne avait alors un grand succès auprès de la population. Pour le transport, les Romains ont construit des aqueducs, vestiges que nous pouvons encore observer de nos jours.

Grâce à ces aqueducs, l'eau était transportée sur des dizaines de kilomètres et permettait ainsi aux Romains de pouvoir assouvir leur amour inconditionnel pour l'eau. Ils l'adorent et la considèrent comme une divinité. Comme ils en maîtrisent parfaitement l'acheminement, grâce à leur savoir-faire en matière de génie civil, ils l'utilisent en grande quantité pour leur hygiène personnelle et leurs loisirs.

Après la chute de l'Empire romain, les aqueducs ne furent plus utilisés. De 500 à 1 500 apr. J.-C., il n'y a eu très peu de développement dans le secteur du traitement de l'eau. Au Moyen-âge, de nombreuses villes sont apparues et avec elles des activités artisanales. Les tanneries, les teintureries, plus tard les moulins à papier, s'installent tout près de cours d'eau et rejettent les effluents souillés sans considération pour l'environnement.

Le développement des gros bourgs et des villes sans considération des besoins en eau et de l'évacuation des eaux usées dégradent fortement les conditions sanitaires déjà précaires. Cela favorise le développement d'épidémies et maladies de toutes sortes. Seuls les plus riches ont recours aux porteurs d'eau. Les eaux usées s'écoulent directement dans les rues. Rapidement, les conditions sont devenues insalubres, du fait que les déchets et les excréments étaient déversés dans l'eau. Les personnes qui buvaient cette eau devenaient malades et pouvaient même en mourir.

Pour résoudre ce problème, les hommes ont commencé à boire de l'eau provenant de l'extérieur de la ville, où les rivières n'étaient pas polluées. La naissance d'un nouveau métier est née, celui de porteur d'eau.

Il faut attendre le XIX siècle pour commencer à voir des systèmes structurés d'évacuation d'eaux usées.

B. Évolution des techniques et des matériaux

1. Mécanique (CVC)

Comme nous l'avons vu dans la partie sur les prémices des MEP, la cheminée ou le trou ménagés au-dessus d'un foyer, sont les appareils de ventilation les plus primitifs. Le principe de convection naturel associé à la grande porosité des premiers habitats suffisait amplement au bon renouvellement de l'air intérieur. Qu'elle soit réalisée de façon naturelle ou mécanique, la ventilation ou aération est indispensable pour obtenir un air ambiant de bonne qualité, satisfaire les besoins d'hygiène et de confort, d'assurer la pérennité du bâti et d'assurer la sécurité face aux appareils de combustion.

Même si le "M" de MEP veut dire "Mécanique", ce sigle englobe les connaissances des CVC (Chauffage, Ventilation et Climatisation). Naturelle ou mécanique, la ventilation d'un bâtiment peut à la fois être croisée avec un système de chauffage ou de refroidissement.

Prenons l'exemple de la ventilation et de la climatisation. Leur combinaison est née de l'Égypte antique et de la Perse. Appelées "*malqaf*" dans l'Égypte antique et "*bâdgir*" en Perse, les tours à vent sont essentiellement présentes dans les milieux chauds et arides. Elles servent de tours de refroidissement et peuvent faire chuter la température à l'intérieur des habitations. À la fois système de ventilation et de refroidissement, il est si efficace, que l'on peut stocker de l'eau quasiment à sa température de congélation sous un climat aride. C'est le principe de la géothermie.



Figure 10: Tour à vent ou malqaf ou bādgir

Cette association se fait aussi avec la ventilation et le chauffage. Afin de bénéficier de températures clémentes lors de la prise de bains, le système de l'hypocauste a largement été exploité par les Grecs et les Romains, même si ce n'est pas eux qui l'ont inventé. L'air chaud produit par un foyer, positionné dans une sorte de vide sanitaire, permet de distribuer les calories nécessaires au réchauffement de la pièce et de l'eau. Le but était de mettre la pièce à bonne température (30 °C environ).

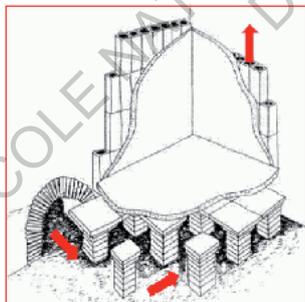


Figure 11: Principe de fonctionnement d'un hypocauste.

Pour que la pièce soit viable et afin que l'air chaud circule mieux dans les autres salles, les murs étaient doublés intérieurement par un réseau de canalisations en terre cuite de section rectangulaire mise bout à bout. L'évacuation des fumées chaudes du foyer se faisait par ces mêmes conduits. Pour l'époque, les principaux matériaux étaient essentiellement la terre cuite, le bois et le mortier.

Autre technique, celle des moucharabiehs. Son origine historique vient des bâtisseurs arabes. *"Depuis le Moyen Âge, les bâtisseurs arabes des régions orientales ont équipé leurs demeures de moucharabiehs. On les trouve essentiellement en Irak, au Proche-Orient, au Hedjaz et en Égypte. (Ici, on voit un balcon à moucharabiehs de style égyptien.). Un moucharabieh (que l'on appelle aussi shanasheel) est une sorte de baie vitrée en saillie, à la manière d'un bow-window, cloisonnée par un treillis de bois complexe parfois associé à du verre teinté. On trouve ce type d'installations essentiellement en zone urbaine, sur les façades des maisons qui donnent sur la rue. La structure légère en bois apporte de l'ombre et laisse passer l'air frais à travers les petits trous du treillis. Les petites ouvertures situées en bas, et d'autres plus larges situées en partie supérieure, permettent d'augmenter la vitesse du flux du courant d'air sur trois des côtés du balcon. Un moucharabieh fournit également de l'ombre aux fenêtres et aux espaces situés en contrebas. À l'origine, on plaçait des vases en argile remplis d'eau dans cet espace, ainsi l'air qui passait à travers l'écran du moucharabieh était rafraîchi avant de pénétrer dans la maison"¹¹.*



Figure 12: Fenêtre Moucharabieh

¹¹ Extrait du site: <<http://www.houzz.fr/ideabooks/30202606/list/architecture-6-techniques-ancestrales-pour-une-maison-fraiche-en-ete>>

Jusqu'avant la crise pétrolière des années 70, l'énergie était bon marché. Les Logements, non isolés et non étanché à l'air, étaient énergivores et les soucis de consommation énergétique n'étaient absolument pas à l'ordre du jour. C'est avec l'évolution de la science et des techniques et de la problématique de consommation et des réglementations applicables aux constructions que la ventilation prit un autre regard. De nouveaux systèmes de ventilation ont été mis en place. Le principe de la ventilation naturelle est oublié au profit de la ventilation mécanique, dite Ventilation Mécanique Contrôlée (VMC).

Différents systèmes de VMC

Type de ventilation	Avantages	Inconvénients	Prix
VMC simple flux autoréglable	<ul style="list-style-type: none"> • Solution la plus économique à l'installation • Possibilité de l'installer soi-même. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gaspillage important de chauffage 	Entre 400 et 700 €, pose comprise.
VMC gaz	<p>La VMC gaz est une déclinaison du système simple flux. Le principe est d'évacuer, par le même réseau, l'air vicié du logement et les produits de combustion d'une chaudière ou d'un chauffe-eau à gaz. Cela nécessite, lorsque la chaudière est en fonction, la présence de bouches d'extraction assurant le surcroît de débit à extraire.</p>		
VMC simple flux hygroréglable	<ul style="list-style-type: none"> • Débit d'air entrant variable en fonction de l'humidité donc de l'occupation et des activités • Économie d'énergie par rapport à VMC simple flux autoréglable • Rapidement amortissable • Possibilité d'ouvrir les fenêtres • Si entrées d'air acoustiques : diminution des nuisances sonores extérieures • Moins de consommation électrique qu'une VMC double flux 	<ul style="list-style-type: none"> • Plus coûteuse qu'une VMC simple flux autoréglable • Gaspillage de chauffage • Surchauffe en été • Petits courants d'air • Réagit à l'humidité, mais pas aux polluants extérieurs 	Entre 700 et 1 200 €, pose comprise.

Type de ventilation	Avantages	Inconvénients	Prix
VMC double flux	<ul style="list-style-type: none"> • Économie importante sur le coût du chauffage, meilleure récupération des calories qu'avec une VMC simple flux hygroréglable • Confort : pas de sensation de courant d'air • Meilleure répartition de la chaleur dans les pièces de vie • Filtration de l'air : amélioration de la qualité de l'air entrant • Isolation acoustique par rapport au dehors • Préchauffage ou rafraîchissement de l'air entrant 	<ul style="list-style-type: none"> • Plus coûteuse qu'une simple flux hygroréglable • Nécessité d'un entretien régulier • Encombrement important • En cas de mauvaise conception : bruit dans les pièces de vie via les bouches d'insufflation • Ne pas ouvrir les fenêtres • Besoin de prévoir une évacuation d'eau pour évacuer la condensation 	Entre 2 000 et 3 500 € (pose comprise).
VMR: Ventilation Mécanique Répartie	<ul style="list-style-type: none"> • Solution adaptée pour la rénovation • Pas de conduits ou de gaines à nettoyer 	<ul style="list-style-type: none"> • Présence d'un groupe d'extraction dans chaque pièce de service (encombrement, esthétique) • Léger bruit de certains ventilateurs • Non réglementaire dans le neuf 	Environ 600 € par appareil (un par pièce humide).
VMP: Ventilation Mécanique Ponctuelle	<ul style="list-style-type: none"> • Solution flexible et efficace • Adaptation précise aux besoins en ventilation de chaque pièce • Pas de pose de conduits à faire 	<ul style="list-style-type: none"> • Impossibilité de renouveler l'air dans tout le logement • Performances énergétiques moins bonnes que la VMC • Non réglementaire dans le neuf 	Environ 150 € par appareil (un par pièce humide).
VMI: Ventilation Mécanique par Insufflation®	<ul style="list-style-type: none"> • Filtration, séchage et chauffage de l'air entrant • Pas de problème de gaines comme dans la VMC double flux. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pour un logement de plus de 500 m³, il faut installer plusieurs VMI • Coût du chauffage électrique de l'air insufflé 	Environ 3 000 € (pose comprise).

Coté matière, l'acier, galvanisé pour être exact, fait partie des matières qui sont utilisées pour l'extérieur. Elle est souvent destinée pour des logements collectifs et installée en toiture (figure 13). Ces caractéristiques lui permettent de garantir une durée dans le temps et sont également utilisées dans le monde de l'industrie. En effet, la propriété particulière de l'acier galvanisé est qu'il ne rouille pas et résiste bien dans des environnements hostiles. Hormis les vieilles installations, il est rare de voir des caissons VMC installés en intérieur de logements de particuliers.



Figure 13: Installation d'un caisson VMC acier en extérieur pour logement collectif

C'est certainement pour gagner en légèreté, en bruit et/ou en coût de fabrication, que l'utilisation de la matière plastique (PVC) intègre la conception des caissons de VMC (figure 14).

Une troisième matière et technique de réalisation a fait son apparition, celle du polyester expansé à haute densité (figure 15). Outre le fait d'augmenter le principe de légèreté et peut-être le coût de fabrication, le principal argument est celui du bruit. Pour cela il faut voir la modification dans la conception. Elle est passée d'une forme rectangulaire à celle d'une forme cylindrique. Ce changement n'est pas des moindres car il diminue fortement le bruit du traitement de l'air. Il faut rappeler que l'air comme l'eau sont des fluides et se traitent de la même manière.



Figure 14: caisson VMC PVC



Figure 15: caisson VMC en polystyrène

2. Électricité

a. Le transport

Même si les premières théories et découvertes remontent assez loin, nous pouvons classer l'électricité comme une invention récente. En 100 ans, et grâce à l'évolution de la science et de la technique, le monde de l'électricité a connu de grandes évolutions.

Le premier bouleversement passe principalement par celui du développement du réseau d'alimentation. Les premières productions d'électricité étaient réalisées par des centrales à production de courant continu. Largement développées par Thomas Edison, elles alimentaient les usines, les transports, les logements,... Ce mode de production d'énergie était convenable mais avait, et a toujours, comme inconvénient celui de la distance. En effet, le courant continu ne peut se transporter que sur de courte distance et du fait de la chute de tension due à la résistance des câbles, il fallait implanter des centrales tous les trois kilomètres.

Cette contrainte incita de nombreuses réflexions. C'est avec Lucien Gaulard¹² (inventeur du transformateur, brevet du 7 novembre 1882) et Nikola Tesla¹³ (inventeur de la machine synchrone, brevet du 1er mai 1888) que la notion de transport d'énergie va prendre une autre ampleur. Ces deux inventions cumulées vont permettre de surmonter les limitations de distance imposées par l'utilisation du courant continu. Le basculement de l'énergie continu vers celle de l'alternative apportera l'avantage du transport et ainsi la distribution sur de grandes distances. L'industriel George Westinghouse¹⁴, détenteur des brevets, finit par imposer ce mode de production aux États-Unis.

En 1889, la France se lance dans l'univers de l'électricité. C'est avant tout pour assurer une meilleure sécurité, vis-à-vis du gaz, que la municipalité de Paris confie à six sociétés le soin de développer et d'exploiter le réseau de distribution d'électricité. Cette confiance aveugle donnera une multitude de réseaux (voir figure 16).

Cette diversité de réseaux ne sera pas simple à gérer : *"À la veille de la guerre, la situation est complexe. En fonction du quartier et de l'immeuble, les*

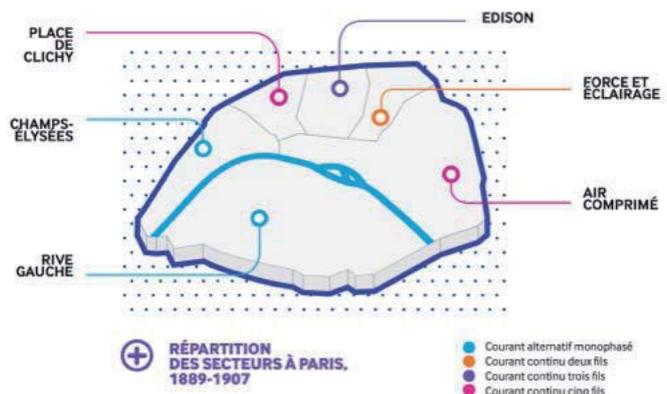


Figure 16: Carte des secteurs de Paris en 1889

¹² Ingénieur français en électricité, chimiste de formation et inventeur du transformateur électrique.

¹³ Ingénieur américain d'origine Serbe dans le domaine de l'électricité, de la mécanique et de la physique.

¹⁴ ingénieur et entrepreneur américain.

abonnés parisiens peuvent recevoir du courant 115 V alternatif ou continu, 230 V continu, 230 V alternatif monophasé ou diphasé ou 460 V continu. De plus, dans un même immeuble, jusqu'à trois types de réseaux peuvent coexister."¹⁵

Une unification globale du réseau sera nécessaire et permettra de mettre en place un réseau bouclé que nous connaissons aujourd'hui. Cette technique a la particularité de mettre tous les points de production électrique (centrale thermique, hydraulique ou nucléaire) en relation les uns et les autres. De ce fait, si un point de production n'alimente plus son secteur, un autre prend le relais. Ainsi, une continuité de service est assurée.

Outre le problème de distribution, celui de la science et de la technique est à prendre en compte. Au début, les centrales étaient proches de leur secteur respectif. Plus tard l'évolution a permis progressivement d'éloigner les points de production des zones d'habitation, obligeant constamment les ingénieurs à trouver des astuces pour réduire les chutes de tension.

Pour faire simple, les conducteurs électriques ou câbles électriques se comportent comme des résistances. Lorsque le courant les traverse, les molécules de la matière sont échauffées et créent des pertes par effet joule (perte en chaleur). Sur de grandes distances, l'effet est amplifié. Pour un bon résultat, la tension au bout du câble ne doit être inférieure à la tension au début du câble et cela dans une certaine fourchette. Par exemple dans le domaine de la basse tension¹⁶ (BT) la chute de tension tolérée est de 3 % entre la protection d'ERDF et le compteur des particuliers. C'est en cela que l'évolution des techniques de fabrication des câbles (haute et basse tension) a largement contribué à rendre un réseau électrique stable afin d'éviter les coupures (ou microcoupures) et sans détérioration des appareils reliés sur celui-ci, mais aussi de pouvoir transporter des puissances toujours plus hautes.

Le PVC¹⁷ n'était pas la première matière utilisée ! À son début "l'utilisation des câbles isolés était exclusivement réservée aux transmissions télégraphiques. Dès 1820, il s'agissait de fils isolés à la soie naturelle puis, à partir de 1840, de fils isolés par un nouveau matériau à base de gomme extraite de certains arbres tropicaux la gutta-percha, produit utilisé notamment pour constituer des câbles sous-marins télégraphiques jusqu'en

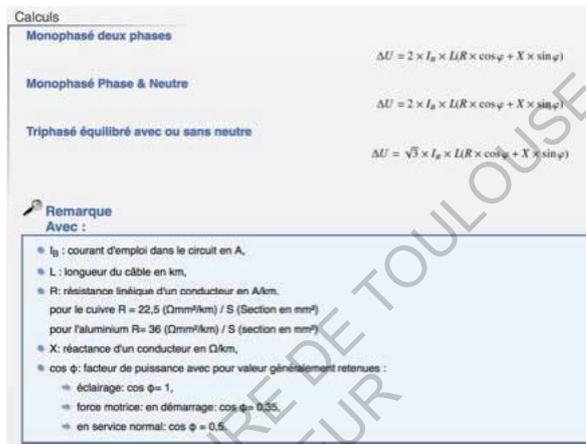


Figure 17: Calcul de la chute de tension sur une ligne électrique.

¹⁵ Extrait de: Livre RTE, "Cent ans de haute tension électrique à Paris sous les pavés, les câbles".

¹⁶ Domaine électrique BT : compris entre 50 V et 1000 V en courant alternatif; et 120 V et 1500 V en courant continu.

¹⁷ PVC ou PolyVinyl Chloride en anglais ou Polychlorure de vinyle en français.

1902 et le Transpacifique"¹⁸. "Cependant, ses caractéristiques n'étaient pas suffisantes pour réaliser les premiers câbles électriques."¹⁹

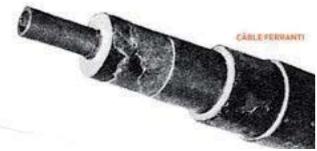


Figure 19: Câble de FERRANTI

C'est avec les premières liaisons souterraines et l'augmentation constante des tensions liées au transport que les câbles électriques haute tension vont connaître une fulgurante évolution : "..., le développement rapide de l'éclairage et de l'industrie électrique oblige les fabricants à concevoir de nouveaux systèmes. Les premières liaisons consistent à poser des fils électriques sur des isolateurs en bois ou en porcelaine, placés dans des caniveaux souterrains remplis de bitume. Par la suite, des isolants tels que le jute asphalté, placés dans un tube de protection, sont utilisés."



Figure 18: Câble de BOREL

Dans cette course à l'innovation, nous trouverons le câble à presse à plomb de Borel. Ingénieur suisse, Borel invente en 1890 une technique de moulage. "Cette technique permet de mouler une gaine de plomb directement sur les conducteurs isolés aux fibres de jute et supprime en partie les problèmes d'absorption d'humidité en rendant le câble étanche. Peu après, en imprégnant l'isolant en jute d'un mélange d'huile et de résine, des câbles monopolaires concentriques à 3 000 V sont posés à Paris, en 1890."

Vient ensuite la technique du papier imprégné de Ferranti²⁰. "Pour la première fois, Ferranti met en place un câble à 10 000 V en enroulant des bandes de papier autour de conducteurs en cuivre disposés dans un tube en acier rempli de bitume. En 1893, aux États-Unis, des bandes étroites de papiers sont enroulées en hélice autour du conducteur et mises sous gaine de plomb. Le procédé d'imprégnation permet d'exploiter au mieux les propriétés connues d'isolation du papier, tout en supprimant les problèmes liés à l'absorption de l'humidité."²¹



Figure 20: Câble "OF"

Il faudra aussi compter sur l'ingénieur italien Emmanuelli, de la société Pirelli, qui en 1917 "... dépose un brevet décrivant les principes d'un câble novateur appelé par la suite "câble à huile fluide" ou "câble à système Pirelli" ou encore "câble OF" pour "Oil-Filled"."²²

Bien sûr tous ces procédés connaîtront de nombreux perfectionnements. Le changement de la matière d'imprégnation (avec des mélanges minéraux en remplacement de la matière

¹⁸ "...câble sous-marin ... posé sur le fond marin, destiné à acheminer des télécommunications ou à transporter de l'énergie électrique".
Extrait et disponible sur: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Câble_sous-marin>

¹⁹ Extrait de: Livre RTE, "Cent ans de haute tension électrique à Paris sous les pavés, les câbles".

²⁰ Ingénieur et inventeur anglais, d'origine italienne, spécialisé dans l'électrotechnique.

²¹ Extrait de: Livre RTE, "Cent ans de haute tension électrique à Paris sous les pavés, les câbles".

²² Extrait de: Livre RTE, "Cent ans de haute tension électrique à Paris sous les pavés, les câbles".

végétale) ou même celui des papiers d'imprégnation (plus minces et de meilleures qualités, avec aussi du papier semi-conducteur au contact de l'âme de cuivre) ne permettront pas de répondre à cette croissance de la consommation toujours plus grande.

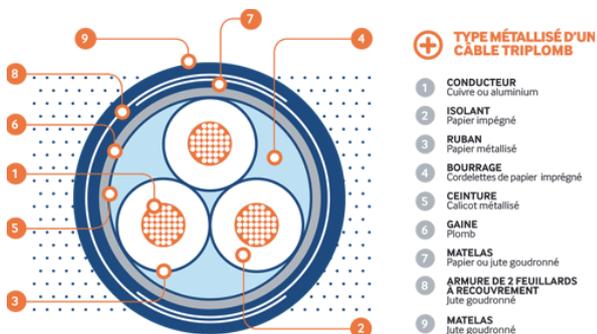


Figure 21: Coupe câble triplomb

Face à ce nouveau déficit, il y a nécessité à trouver une nouvelle technologie. Elle apparaît en 1927 avec l'arrivée d'un nouveau câble. "... Il s'agit de câbles triphasés à champ radial de type triplomb. Dans ce câble, trois conducteurs sont chacun entourés d'une couche d'isolant en papier imprégné, d'un écran en rubans de papier métallisés puis d'une gaine en plomb. Ces trois éléments sont ensuite entourés d'un ruban textile métallisé et contenus dans une gaine en plomb. Les écrans, permettant de répartir de manière radiale le champ électrique, sont reliés à la gaine en plomb contenant les trois conducteurs. Seuls deux câbles de ce type ont été posés en région parisienne, sur une double liaison entre Romainville et Vincennes. Ils ont été mis hors d'exploitation en 1967, après 40 années de service..."²³

écrans, permettant de répartir de manière radiale le champ électrique, sont reliés à la gaine en plomb contenant les trois conducteurs. Seuls deux câbles de ce type ont été posés en région parisienne, sur une double liaison entre Romainville et Vincennes. Ils ont été mis hors d'exploitation en 1967, après 40 années de service..."²³

Toujours dans cette quête de l'innovation, les progrès des câbles à huile fluides permettent vite d'exploiter des tensions bien supérieures et d'atteindre les 225 000 V. Mais c'est avec l'arrivée des matières synthétiques que les câbles vont atteindre des records de performance. Avant cela... "il a fallu que les ingénieurs se penchent sur les nombreux problèmes techniques posés par ce nouveau matériau. Sensible à l'oxydation, à la diffusion en son sein de nouveaux matériaux et au phénomène de fissuration sous contrainte, il présente un coefficient de dilatation élevé et une température de cristallisation assez basse (105 à 115 °C)." ²⁴



Figure 22: Câble 225 000 V

Ce goût de la performance donne naissance dans les années 1960 à trois processus de fabrication. Les deux premiers sont le polyéthylène basse et haute densité (PEBD et PEHD). La haute densité possède des... "caractéristiques thermiques et dynamiques... meilleures. Par exemple, en raison d'une température de fusion cristalline plus élevée (125 °C), la température de fonctionnement d'un câble isolé au PEHD est portée à 80 °C contre 70 °C pour un câble à PEBD. Cela permet d'augmenter la capacité de transport. L'ajout d'additifs dans l'isolant permet aussi d'améliorer sa tenue électrique." ²⁵



Figure 23: Câble à isolation synthétique, conducteur cuivre et écran aluminium

²³ Extrait de: Livre RTE, "Cent ans de haute tension électrique à Paris sous les pavés, les câbles".

²⁴ Extrait de: Livre RTE, "Cent ans de haute tension électrique à Paris sous les pavés, les câbles".

²⁵ Extrait de: Livre RTE, "Cent ans de haute tension électrique à Paris sous les pavés, les câbles".

Pour finir, "le Polyéthylène Réticulé représente, jusqu'à ce jour, la dernière innovation majeure en termes de type d'isolant. Le procédé de réticulation chimique utilisé par les constructeurs a été mis au point au milieu des années 1950. Il consiste à créer chimiquement des connexions entre les différentes macromolécules de polyéthylène. Cela permet d'améliorer certaines de ses propriétés et notamment sa résistance aux hautes températures.

Ainsi, sa température de fonctionnement atteint 90 °C. Mis au point dès les années 1960, le câble à isolation PR est cependant réservé pendant plus de deux décennies aux câbles de moyenne tension. Son utilisation en France pour les hautes tensions est relativement récente.

La mise au point d'un nouveau procédé de réticulation, à sec, au milieu des années 1970, permet d'augmenter la fiabilité des câbles haute tension. En 63 000 V et 90 000 V, son utilisation devient systématique à partir de 1986. Il faut attendre 1994 pour voir son utilisation certifiée en 225 000 V.

"... Jusqu'aux années 1970, le cuivre a été le seul matériau utilisé pour conduire l'énergie électrique dans l'âme. Ensuite l'aluminium a parfois remplacé le cuivre dans la partie centrale du câble. Plus léger et plus économique, l'aluminium présente toutefois une conductivité moins grande que le cuivre. À capacité de transport équivalente, une âme en aluminium doit donc avoir une section plus grande qu'une âme en cuivre.... Pour toutes les autres technologies, le plomb est employé jusqu'en 1998. À partir de cette date, il est progressivement remplacé par l'aluminium. Le dernier palier technique des câbles souterrains est franchi en 2002 avec les premiers câbles à isolation PR et à écran aluminium."²⁶

b. Le logement

Tous comme le transport d'énergie électrique, le logement se voit lui aussi doté d'une évolution de matière et de techniques constantes. Cette innovation peut grossièrement se distinguer sous deux formes : appareillages et cheminement.

Autrefois tous les appareils étaient réalisés sur une base de porcelaine ou de bois. Installée depuis 1865, la société Legrand trouve dans le nouveau marché de l'électricité un possible rendement supplémentaire à ses fours. Les propriétés d'isolation de la porcelaine vont pousser, en 1919, Legrand à un partenariat avec un entrepreneur en électricité. "Le succès est rapide. La production d'appareillages à but domestique devient l'activité principale de Legrand et l'incendie de son usine en 1949 déterminera définitivement sa vocation. Un créneau remarquablement exploité, car aujourd'hui, Legrand est numéro un mondial en interrupteurs et prises de courant que cela soit en

²⁶ Extrait de: Livre RTE, "Cent ans de haute tension électrique à Paris sous les pavés, les câbles".

domestique ou en industrie. Son succès réside en sa force de recherches constantes d'innovation avec ses pôles recherches".²⁷

Pour voir cette évolution, il suffit de comparer les premiers interrupteurs à ceux de nos jours par exemple. Comme nous pouvons le constater, la matière passe de celle de la porcelaine à celle du PVC. Introduit vers les années 1960, le PVC deviendra très rapidement incontournable. Dans les premières conceptions se distinguent des variantes dites "haut de gamme" avec des pièces en laiton qui agrémentaient la finition. De nos jours le PVC a pris la plus grande part du marché, même s'il persiste quelques irréductibles amoureux de la porcelaine.

En termes de coupe-circuit, l'avancée reste également significative. La comparaison entre l'interrupteur-sectionneur de 1930 et celui de nos jours est sans appel. L'ancienne version se présentait sur un support en porcelaine ou deux éléments venaient en contact pour fermer le circuit. Ce procédé étant hautement dangereux, il a donc fallu l'enfermer dans un coffret pour ne pas être exposé à l'arc émit lors de l'amorçage, mais aussi pour ne pas être en contact direct avec la tension présente en amont du dispositif.

Comme le montre la figure 27, les inter-sectionneurs de notre époque forment un seul et même bloc. Composés de matière plastique (PVC), celui-ci permet avec ses caractéristiques chimiques de créer des protections plus fines que le bois et ainsi d'alléger l'objet tout en apportant une aussi bonne protection que le bois. L'amorçage d'un tel dispositif crée des arcs électriques qui peuvent engendrer avec des risques par projection. Ce phénomène reste tout de même moins intense que les courts-circuits (Haute température 3 000 °C, projection de matière en fusion, rayonnement,...).



Figure 27: Inter-sectionneur Vistop - 63 A - 4P - cde latérale - poignée rouge.

La protection des circuits passe, elle aussi, par de nombreux changements. Pour donner les principales étapes, la figure 28 montre le premier système à fusible et de porte fusible en porcelaine, ou la sécurité n'était pas très optimale. Par la suite, en figure 29, le PVC a rapidement pris le relais dans le mode de conception. Il faut ne pas oublier également l'évolution du fusible en lui-même qui passe du tout porcelaine à l'utilisation du verre. Cela permettait de voir si le filament avait "grillé" ou pas.



Figure 24: Interrupteurs porcelaine et



Figure 25: interrupteur bipolaire Legrand de nos jours.



Figure 26: Inter-sectionneur monophasé et son coffret de protection avec commande déportée de 1930.

²⁷ Extrait de: Journal Du Net (JDN), "Legrand, de la porcelaine à l'électricité".

Ultérieurement certains fusibles seront remplis de sable. De nos jours ce genre de dispositif a tendance à disparaître au profit des disjoncteurs (figure 31). Dans certains cas la norme électrique (NF C15 100) interdit l'utilisation de fusibles.

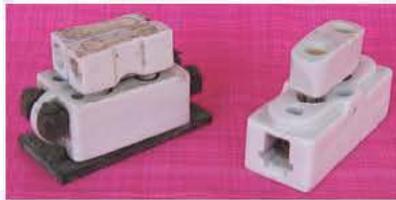


Figure 28: Fusible et porte fusible en porcelaine de 1919.



Figure 29: Porte fusible PVC avec fusible en verre.



Figure 30: Fusible en verre.



Figure 31: Disjoncteur 2 A à courbe C de nos jours

Ce principe de protection par fusible, avant de devenir un élément installé dans un tableau divisionnaire, était à une période intégré directement au niveau de l'appareillage (prise de courant ou interrupteur). Cette méthode était en parfaite relation avec le mode de pensée de l'époque. Avant d'arriver au niveau d'exigence des normes électriques actuelles, les premières installations étaient pour le moins simplistes (figure 33). Une seule alimentation pour tout le logement. Bien sûr les besoins en énergie n'étaient pas les mêmes que maintenant. Néanmoins les installations électriques de nos jours doivent impérativement distinguer les circuits prises des circuits éclairages (voir figure 34).



Figure 32: Prise de courant et interrupteur avec fusible intégré.

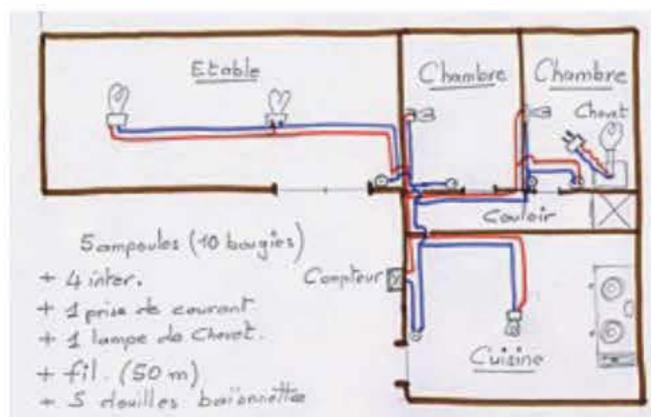


Figure 33: Schéma électrique logement 1930.

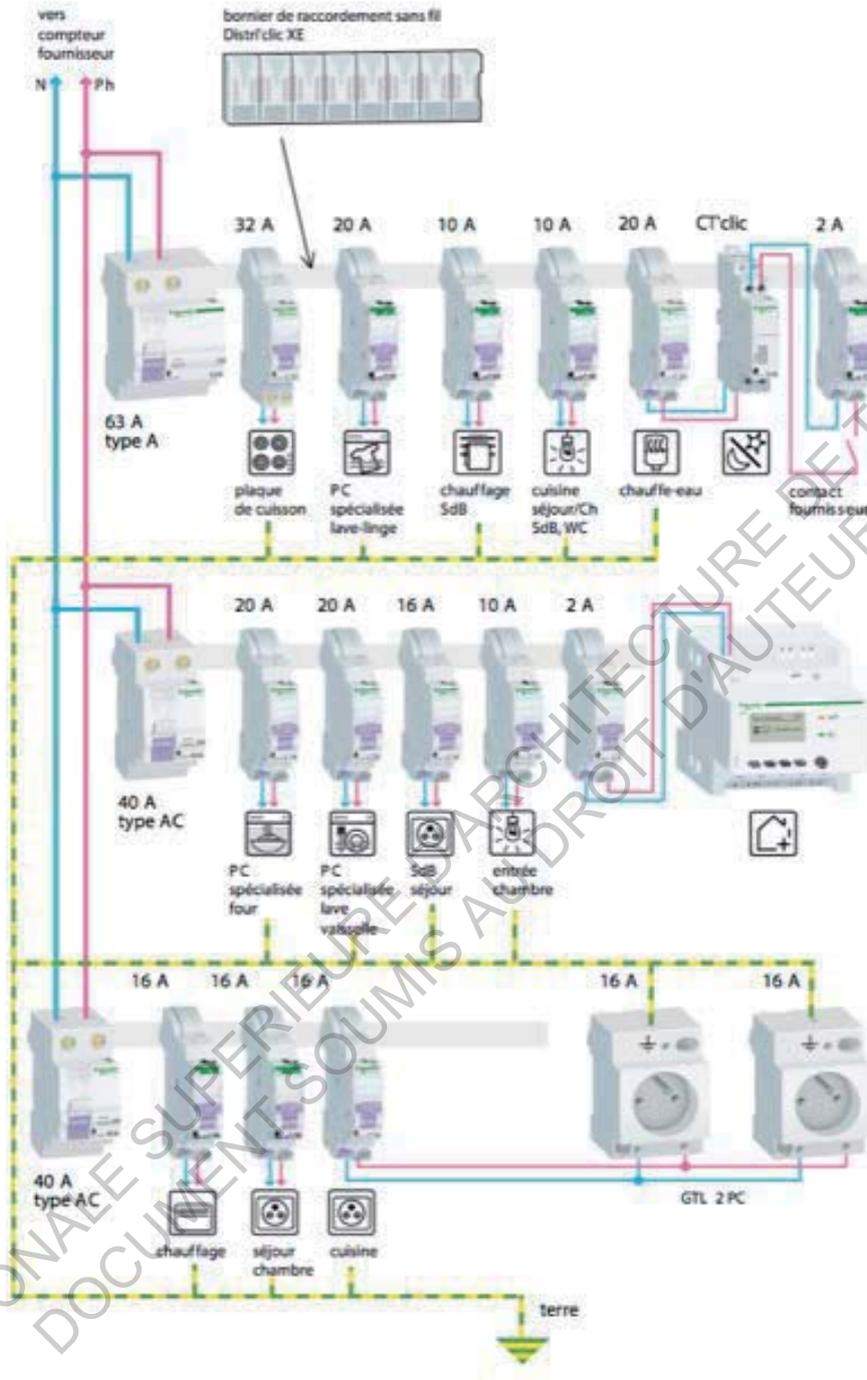


Figure 34: Tableaux de répartition, d'un T1 avec chauffage électrique, de nos jours.

PRISES DE COURANT





1945 Prise de courant bipolaire 10 Amp., socle et bouchon porcelaine. Le cent... **670.** »

1946 Socle seul **320.** »

1947 La même, 15 ampères, mais bouchon en matière moulée. Le cent **860.** »

1949 Prise de courant 30 Ampères, socle porcelaine, bouchon matière moulée. Le cent **1640.** »

1950 Socle seul **665.** »

N° 1956

Prises de courant à pôles interchangeables, socle fibre noire, bouchon bois noir.

Intensités	Tripolaires			Tétrapolaires		
	Nos	Prix : l'une complète	bouchon	Nos	Prix : l'une complète	bouchon
15 A.	1952	20.50	7.30	1956	22. »	8.50
30 —	1953	38.20	14.50	1957	42. »	16.60
60 —	1954	60. »	—	1958	70. »	—

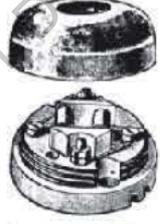
DEMI-GRANDEUR
N° 1960

Prise de courant tripolaire socle porcelaine, bouchon matière moulée, 15 Ampères, 220 volts. Le cent **1000.** »

1961 Socle seul **430.** »

1962 La même pour 30 Ampères. Le cent **2000.** »

1963 Socle seul **745.** »

1965 Prise de courant à interrupteur, porcelaine blanche. Ecartement normal pour 5 Amp. Le cent **700.** »

1966 Socle seul **500.** »

1967 La même écartement réduit. Le cent **1120.** »

1968 Socle seul **600.** »

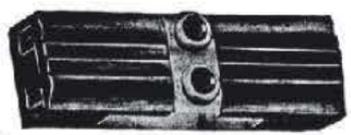
N° 1976

1976 Prise de courant à fiche centrale. Socle porcelaine. Le cent **430.** »

1987 La même avec coupe-circuit. Le cent **480.** »

1979 Fiche seule, calotte laquée blanc **180.** »





1970 Prise de courant pour moulure 2 Rainures 6%, à continuité de fils, complète avec bouchon porcelaine. Le cent **500.** »

1971 Socle seul **280.** »

Prise de courant 15/20 Ampères, socle porcelaine rectangulaire, bouchon bois, avec fiche de terre.

1972 Bipolaire. L'une **14.20**

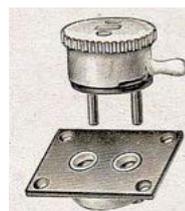
1973 Tripolaire — **17.70**

1980 Prise de courant très réduite, pour moulure 2 rainures 6 %, complète avec bouchon porcelaine. Le cent **500.** »

1981 Socle seul **280.** »

Figure 35: Exemple de l'évolution de la prise de courant.

La prise de courant a, elle aussi, connu son lot de mutation. Comme le montre la figure 35, l'évolution de matière et de formes reste quasiment sans limite. Plate, ronde, rectangulaire, en passant par la porcelaine, l'acier et le laiton ou même le bois, les ingénieurs débordent d'imagination. En figure 36 nous pouvons voir une prise de courant où l'interrupteur est pour le moins original. À l'originalité nous pouvons rajouter la débrouille. Sur la figure 37, "celle de gauche est un modèle normal en bois. Celle de droite est un type spécial connu sous le nom de "douille voleuse". "La "douille voleuse" est un adaptateur qui permettait de transformer une douille de lampe en prise de courant, en particulier à une époque où les contrats avec le fournisseur d'électricité et la tarification étaient basés sur le nombre d'ampoules mises en place chez l'utilisateur. Le dispositif permettait de venir récupérer du courant au niveau d'une lampe pour alimenter un appareil externe supplémentaire (lampes, réchaud électrique, appareil électroménager,...). Compte tenu du danger que présentait ce type d'accessoire (risques de surcharge électrique des lignes - incendie - électrocution), leur commercialisation est de nos jours interdite.... ce qui ne veut pas dire qu'il n'y en a plus en service.... dans nos caves par exemple !"²⁸



01041. Nouvelle prise de Courant Interrupteur
Complète ... N° 01041 4 80
La base seule, N° 01042 2 »
La fiche — N° 01043 2 80



Figure 36: Prise de courant avec interrupteur intégré de 1913



Figure 37: Prise de courant bois (années de guerre).



Figure 38: Prise de courant 16A 2P+T actuelle

La figure 38 montre la dominance du PVC des dernières prises produites par la marque Legrand, qui ne sont pas moins différentes des autres fabricants (ABB, Debflex, Schneider). La norme impose que les éléments recevant sous tension soient IP2X, c'est-à-dire que son indice de protection ne permette pas de rentrer en contact direct avec les parties sous tension, ainsi que la présence de connectique de mise à la terre.

Au début du siècle, nous retrouvons le même mode de fabrication avec les éléments qui vont accueillir les lampes à incandescence. Des parties métalliques sont directement accessibles (figure 39). L'évolution de la norme et l'introduction du PVC apportent à cet appareillage une sécurité optimale que nous pouvons voir en figure 41.

Même si l'électricité est considérée comme l'invention du siècle, elle n'est rien sans la lampe à incandescence. Jusqu'à la quasi fin du XIX^e siècle, "la lampe" (entendez lampe à pétrole) "était l'apanage des pauvres ou des familles économes, les chandelles de suif et les bougies de cire se substituant progressivement aux lampes. Disons que lampes, chandelles, bougies avaient traversé un millénaire et demi sans progrès notable,

²⁸ Extrait de: le radio fil, j'installe l'électricité à la maison", disponible sur: <<http://leradiofil.com/ElecPrim.htm>>



Figure 39: Douilles à vie et à baïonnette. Début du XX^e siècle



Figure 40:
Douille
Porcelaine à
baïonnette



Figure 41:
Douille DLC

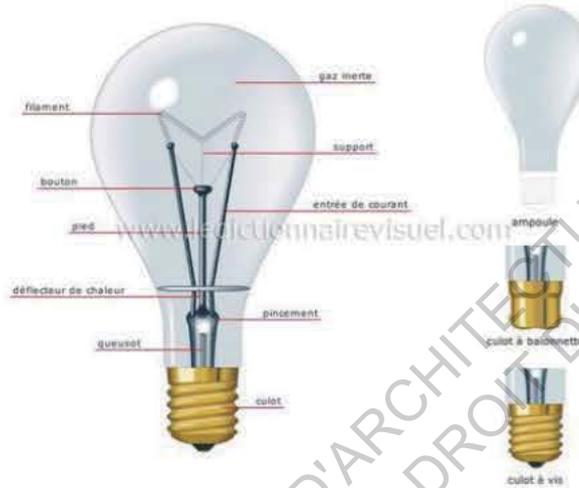


Figure 42: Lampe à incandescence.

sans amélioration depuis l'époque romaine, bien que l'on ait pris grand soin de leur forme plastique et de leur ornementation" ²⁹

Il faudra attendre, pour que l'éclairage par l'incandescence apporte confort et qualité de vie, la prouesse de deux hommes Edison et Swan. Le Dépôt du brevet du 4 novembre 1879 et celui du 20 janvier 1880 ont apporté à l'humanité les premières lampes à incandescence qui ont pleinement comblé les besoins de l'homme et de l'industrie (figure 42).

Nous allons maintenant aborder un dernier point dans le logement, celui du cheminement. Et quand nous disons cheminement nous impliquons également la présence de câbles et de raccordements. Comme évoqué précédemment lors du chapitre sur transport de l'énergie électrique, il faut bien que nos divers éléments soient reliés entre eux.

Pour cela, les ingénieurs de l'époque ont mis au point des câbles de plus petite section que ceux voués au transport à grandes distances. Dans les premières techniques "... le fil est constitué de deux conducteurs torsadés. Chaque brin est composé d'une âme en cuivre (multibrin) entourée d'un isolant (en général caoutchouc ou gutta-percha). Le tout

²⁹ Extrait de: Journal Du Net (JDN), "Legrand, de la porcelaine à l'électricité".



Figure 43: Fil électrique de 1925.

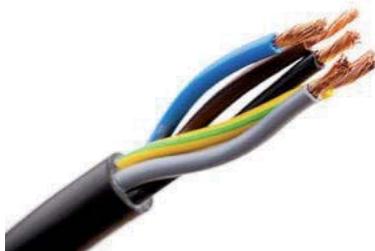


Figure 44: Câble électrique 5G6 mm2



Figure 45: Exemple de cheminement pour câble torsadé de 1925.



Figure 46: Exemple de cheminement en fils parallèles de 1925.



Figure 47: Exemple de cheminement pour montage 3 fils (triphase) de 1925.



Figure 48: Exemple de support pour fils torsadés en porcelaine. A droite, un taquer en os.

est enfermé dans une gaine en coton ou en soie".³⁰ Il n'y a pas encore de produits plastiques artificiels en 1925 (figure 43). Bien sûr, l'évolution technique du câble viendra introduire du PVC et autres dérivés (figure 44), ceci afin d'augmenter ses caractéristiques de transport. Cette avancée permettra également de réduire les surcharges et les surintensités en adaptant la section de l'âme en relation avec sa fonction (plaque électrique avec une section de 6 mm², prise de courant en 1,5 mm² pour 8 prises maximum...).

Pour le cheminement, vers les années 1930, la méthode était fonction du nombre de câbles à faire parcourir (figures 45, 46 et 47). Le seul impératif était de ne pas mettre les fils à même le mur. La très mauvaise isolation thermique des logements expliquait la présence d'humidité. La matière dominante de l'époque reste la porcelaine mais, par exception à la règle, l'os, certainement animal (figure 48), était utilisée pour réaliser des supports de câbles.

Par soucis d'esthétique et/ou sécuritaire, d'autres méthodes seront mises en œuvre. "Un autre type d'installation était aussi très apprécié jadis, surtout dans les riches demeures bourgeoises où le tube Bergman et les fils sur taquets s'intégraient plutôt mal entre les boiseries, les plafonds stuccés, les tapisseries fleuries et les meubles de style des Années folles. Les électriciens cherchèrent donc à dissimuler au maximum les fils électriques et proposèrent à leurs clients de les cacher sous des moulures en bois peintes ou vernies, beaucoup plus discrètes que le tube en tôle."³¹ (figure 49)



Figure 49: Moulure en bois (1930).

³⁰ Extrait de: le radio fil, j'installe l'électricité à la maison", disponible sur: <<http://leradiofil.com/ElecPrim.htm>>

³¹ Extrait de: le radio fil, j'installe l'électricité à la maison", disponible sur: <<http://leradiofil.com/ElecPrim.htm>>



Figure 51: Exemples de dominos et de boîtes de raccordement.

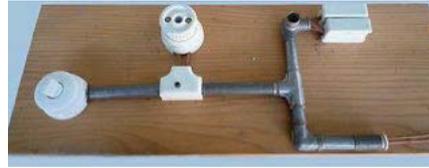


Figure 50: Installation avec tube Bergman avec éléments en porcelaine de 1925.



Le tube Bergman faisait partie des autres solutions pour acheminer les câbles électriques. Toujours de manière apparente les tubes étaient composés d'une âme en carton goudronné et entourée par une mince feuille de tôle roulée agrafée. Les premiers tubes Bergman ne comportaient pas d'enveloppe métallique.

Ce procédé demandait comme mise en œuvre, lorsqu'il n'était pas noyé dans les murs, d'être fixé par des cavaliers en acier (figure 50). Un savoir-faire et des outils spécifiques étaient de rigueur. Il fallait également des éléments de jonction comme des boîtes de dérivations en Té ou à 90° et des dominos (figure 51).

Dans les années 1960-1970, l'arrivée du PVC et de ses dérivés, mettra fin aux précédentes mises en œuvre indiquées ci dessus. Tous les corps d'états seront envahis par cette matière plastic. En figure 52, les électriciens utiliseront des boîtes de dérivation. Additionner aux dominos en barrette (figure 53) ou la borne de connexion rapide (figure 54), ces éléments apporteront un gain de temps et une aisance de travail non négligeable.

Même les cheminements basculeront au tout plastic. Électriciens ou poseurs de climatisation utiliseront ces goulottes tout PVC (figure 55 et 56). Les prix de production apporteront un vrai argument de force. Pour finir, il est amusant de voir en figure 57 les rallonges électriques de 1925 qui sont assez éloignées des modèles actuels.



Figure 52: Boîtes de raccordement PVC.



Figure 53: Barrette de connexion dite domino.



Figure 54: Bornes de raccordement rapide pour fil rigide (à gauche) et fil souple (à droite) de



Figure 55: Goulotte PVC 1, 2ou 3 compartiments.



Figure 56: Goulotte Pvc et acier 1 compartiment .



Figure 57: Rallonge électrique de 1925.

3. Plomberie

8 000 ans avant notre ère, la "ville" de Jéricho se servait de la présence d'oasis comme source. Cette présence d'eau explique donc les premières traces d'occupation du site. Estimée à environ 3 000 habitants, la ville était déjà arrivée à un stade d'organisation économique et politique assez complexe. Leurs premières techniques étaient pour disposer d'eau en différents lieux, de créer des stocks sous forme de puits (figure 58). Les traces des premiers puits sont datées de 6 000 av. J.-C.. Ils étaient utilisés comme point d'eau pour alimenter la ville par des canalisations. Évidemment, nous sommes très loin de ce que réaliseront les Égyptiens (4 000 ans plus tard) ou même les Romains. Les premiers barrages apparaissent en Egypte.



Figure 58: Puit antique de le fin du 4^eet début 5^e siècle, découvert en Angleterre.

Au fil des siècles les Hommes ont alors commencé à développer des systèmes de transport d'eau potable. Dans les premiers temps le transport s'effectuait grâce à de simples canaux, des digues en sable ou en roche. Plus tard, l'utilisation de sortes de canalisations feront leur apparition. L'Égypte utilisait des branches de palmier, la Chine et le Japon utilisaient du bambou,.... Par la suite nous verrons que la matière première se diversifia (l'argile, le bois et même le métal).

Dès l'Égypte, apparaît le savoir du bitume naturel. *"Il était connu à cette époque pour sa fonction d'étanchéité. Sous le nom de "bitume de Judée", il est utilisé par les Égyptiens, Hébreux et Sumériens car il existait à l'état naturel sur les bords de la mer Morte (mais aussi de la mer Caspienne). Il servait de liant, de produits pharmaceutiques (conservation des momies égyptiennes et cosmétologiques) et au calfatage des navires".*³²

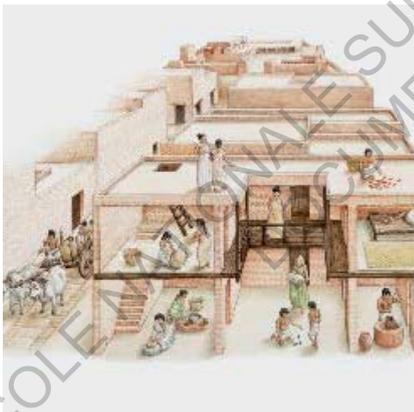


Figure 59: Présence d'une pièce d'eau dans d'habitat.

*"Les cités de Mohenjo-Daro et Harappa, témoignages de la civilisation de l'Indus (2 500 à 1 500 av. J.-C.), révèlent l'existence de maisons équipées de douches et de piscines"*³³ (figure 59). À cette période les canalisations n'étaient certainement pas présentes. L'approvisionnement devait se faire par le biais de jarres.

Outre le problème du transport, il y a également le souci d'élévation. Suite à des changements climatiques le niveau des fleuves et rivières baisse et les pluies se raréfient. Afin de toujours maintenir un système d'irrigation

³² Extrait du site: Wikipédia, "Bitume", disponible sur: Extrait du site: Cieau, "l'eau potable pour tous, une conquête récente", disponible sur: <<https://fr.wikipedia.org/wiki/Bitume>>

³³ Extrait du site: Cieau, "l'eau potable pour tous, une conquête récente", disponible sur: <<http://www.cieau.com/l-eau-potable/l-eau-potable-pour-tous-une-conquete-recente>>

opérationnel, les Egyptiens vont reprendre un système d'élévation qui permettra un arrosage suffisant des champs. Le chadouf (ou shadouf) apparaît en Mésopotamie dès le III^e millénaire avant notre ère. C'est un appareil à bascule servant à puiser l'eau d'un puits, d'un point d'eau ou d'un cours d'eau (figure 60) qui se trouve plus bas et de le faire monter par étapes successives.

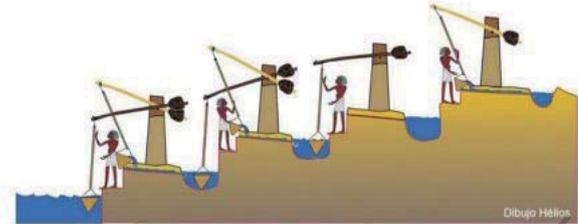


Figure 60: Principe du Chadouf (ou Shadouf).

"On attribue à Archimède (287 - 212 av. J.-C.) l'invention de la vis comme élément de relevage de l'eau"³⁴ (figure 61).

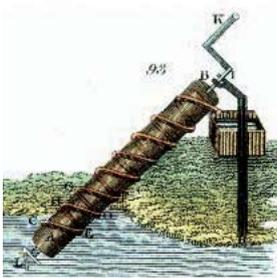


Figure 61: Extraction de l'eau par vis sans fin.

Ce n'est que vers l'époque Romaine que les techniques vont se diversifier et se complexifier. Le goût et le plaisir des Romains pour l'eau en seront les moteurs de recherche et la présence de fontaines, de bains, de thermes ou d'aqueducs en sont la preuve. C'est avant tout, comme le reste des civilisations, une nécessité que d'avoir de l'eau pour vivre. C'est l'état qui va être garant et assurer à tout citoyen romain de l'eau fraîche et pure. Bien sûr une taxe en sera prélevée.

Avec les Romains, le transport de l'eau prend une tout autre ampleur, "en 312 av. J.-C., le premier aqueduc l'Aqua Appia amène l'eau dans Rome au moyen de canaux maçonnés. Ils construisent également un réseau d'aqueducs pour approvisionner les différentes régions et provinces..."³⁵



Figure 62: Illustration du principe d'un aqueduc.

Cette frénésie poussera Rome à construire 11 aqueducs, 250 châteaux d'eau et 1 352 fontaines afin d'apporter l'eau courante à la ville. Mais avant l'aspect plaisir que l'eau peut provoquer, il y a l'eau

des ingénieurs. Pour avoir à proximité de son logement de belles fontaines contenant cette eau pure, il faut pour cela l'acheminer. C'est là, que rentre en compte le savoir des ingénieurs.

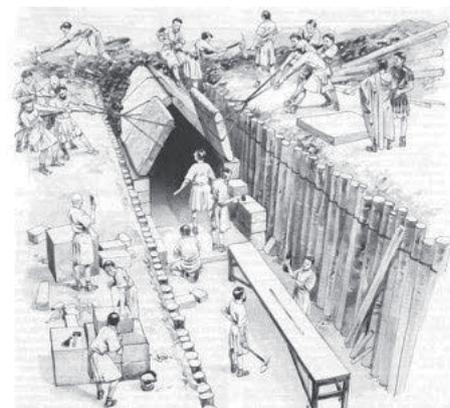


Figure 63: Illustration du principe de construction d'un aqueduc.

Localiser la source, c'est avant tout la première étape. Cela détermine la distance à parcourir, la nature des obstacles à franchir et le plus important la hauteur

³⁴ Extrait du site: Cieau, "l'eau potable pour tous, une conquête récente", disponible sur: <http://www.cieau.com/l-eau-potable/l-eau-potable-pour-tous-une-conquete-recente>

³⁵ Extrait du site: Cieau, "l'eau potable pour tous, une conquête récente", disponible sur: <http://www.cieau.com/l-eau-potable/l-eau-potable-pour-tous-une-conquete-recente>

du site ou l'eau doit toujours être pure et abondante (batterie de tests à l'appuie).

Une fois le site validé, il ne reste plus qu'à acheminer la matière première. Ce parcours est réalisé "... grâce à aucune autre force que celle de la pesanteur au travers de conduits ou d'aqueducs. En effet dans l'aqueduc on trouve une pente constante sur toute la distance qui sépare la source du point d'arrivée. Pour parvenir à ce résultat, chaque partie individuelle tout au long du parcours est légèrement inférieure à celle du précédent, et légèrement supérieur à l'autre, de façon à obtenir une pente moyenne calculée à environ 2 %".³⁶

Toujours en quête d'amélioration, les romains ont fait preuve d'ingéniosité. La réinterprétation de la noria est un mélange de la roue à aubes et de la roue à augets. Quand un problème d'ordre altimétrique venait faire obstacle, ils ont tout simplement remplacé les palles en bois de l'invention Grecs par des pots en céramique pour élever l'eau (voir figure 64). La seule force du courant permettait de faire remonter l'eau.



Figure 64: Une Noria et son aqueduc à Hama (Syrie).

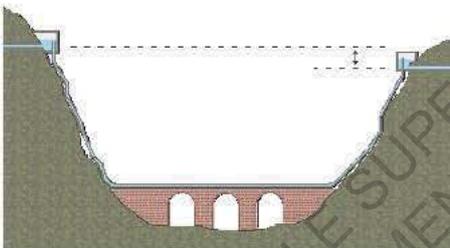


Figure 65: Principe du siphon.

Une autre méthode était appliquée pour remédier aux problèmes d'ordre naturel. Le siphon renversé est aussi une technique basée sur la gravité. Son principe est simple. Au début de l'obstacle, l'eau est recueillie dans un réservoir. Au fond de celui-ci part un tuyau vers le bas et remonte de l'autre côté de l'obstacle sur une autre réservoir mais légèrement décalé par le bas. Ce décalage permet à l'eau de toujours arriver avec une pression constante de l'autre côté et de poursuivre son chemin sur le conduit suivant. Pour notre compréhension les châteaux d'eau fonctionnent sur le même principe : les vases communicants.

À la différence de la Rome Antique, la France du Moyen-Âge montre une fracture plus net entre les couches sociales. Seuls les palais, les couvents, les abbayes et les hôpitaux avaient le privilège d'avoir de l'eau potable à domicile. Pour le reste de la population, la solution de ravitaillement se trouve soit à la fontaine publique, soit puisée l'eau directement aux fleuves, aux rivières ou aux puits. C'est le manque d'implantation de points de distribution (fontaines publiques, puits,...) qui contribue à la naissance du métier de porteur d'eau.

Difficile à dater, les premières traces écrites remontent à Paris, en 1292, avec le "livre de taille" qui fait mention de la corporation de porteurs d'eau, avec un



Figure 66: Montmartre. Porteur d'eau devant le Lapin Agile. Paris, vers 1910

³⁶ Extrait du site: Maquette Land, Claude Balmefrezol, "Rome aqueducs", publié le 12/06/2016, disponible sur: <<http://www.cieau.com/l-eau-potable/l-eau-potable-pour-tous-une-conquete-recente>>

corpus de 58 membres. De plus l'accroissement chaotique des faubourgs apporte de la densité aux abords des villes et dégrade fortement le niveau d'hygiène. Rajoutons à cela les activités commerciales comme les teintureries et les mégisseries qui s'installent au bord des cours d'eaux. C'est un résultat catastrophique pour les cours d'eau et l'hygiène. L'insuffisance d'eau et la pollution, poussent la population à toujours aller plus loin pour se ravitailler en eau. L'absence de réseau d'égouts ne fait que renforcer ce problème de salubrité.

A contrario, la Rome Antique se donnait la priorité de l'accès à l'eau pure pour tous. La seule distinction sociale se réalisait dans la beauté des objets pour le transport de l'eau. En revanche, ces deux périodes ont un point en commun, celui des égouts. Catastrophiques et inexistant pendant la période du Moyen-Age, les Romains ont évolué progressivement vers un système d'évacuation des eaux noires.

La première méthode, pour assainir et drainer, était de tracer dans les champs des canaux à ciel ouvert. Ce système montra vite ses limites et il apparut clairement que la solution était d'installer des galeries souterraines. Les villes anciennes de la Rome Antique, comme Pompéi, Rome,... ne disposaient pas d'égout. Il faudra attendre que les villes soient équipées d'aqueducs pour que l'eau puisse s'évacuer jour et nuit, et ne plus venir souiller les rues. Vers la fin du 1er siècle, les villes les plus importantes sont traversées par un puissant courant d'eau qui viendra les nourrir et les nettoyer. La ville moderne est née.

Mais, me direz-vous : pourquoi le savoir de la civilisation Romaine n'a-t-il pas perduré dans le temps ? Cette perte de connaissance et de pratique est certainement due à l'invasion des barbares qui détruisirent tous sur leur passage.



Figure 67: éléments de canalisation en terre cuite de 150 ans ap. J.-C..

D'un point de vue constructif, les différentes époques se sont servies des matières que les lieux offraient. *"En 2 500 av. J.-C., les Crétois mettent au point les premiers ouvrages d'adduction d'eau avec des tuyaux en terre cuite amenant l'eau dans les maisons"*³⁷. Les tuyaux avaient généralement des diamètres de 16 à 20 centimètres pour une épaisseur d'au moins 36 millimètres. C'est tuyaux étaient de forme tronconique ou cylindro-conique. Avec des tronçons de 50 à 60 centimètres de long, les éléments de terre cuite étaient jointés entre eux par de la chaux vive détrempée avec de l'huile.

Le bois était également utilisé comme canalisation mais l'était de manière plus rare. Ce mode constructif se rencontrait surtout dans les régions montagneuses et forestières.



Figure 68: éléments de canalisation en bois d'eau potable. Époque Moderne, 18e siècle.

³⁷ Extrait du site: Cieau, "l'eau potable pour tous, une conquête récente", disponible sur: <http://www.cieau.com/l-eau-potable/l-eau-potable-pour-tous-une-conquete-recente>

Quant au plomb, il était tout bonnement proscrit par Vitruve : *"Il n'apparaît pas du tout opportun, dit Vitruve³⁸, que l'eau soit amenée par des conduits en plomb, si nous voulons avoir une eau salubre"*³⁹. Malgré cela les Romains préféraient le plomb à la poterie et s'exposaient fortement au risque de saturnisme que transmet le plomb à l'homme. Contrairement à ce que pensait Vitruve, cette transmission n'avait pas lieu par les canalisations. Une fois immergé dans l'eau le plomb était non contagieux. La transmission se faisait par le biais des aliments. Ils étaient tous stocker dans des récipients en bronze dont le fond était recouvert, en guise d'étamage, d'une mince couche de plomb. C'est en fait le contact du plomb, de l'eau et de l'air libre qui provoque cette toxicité. Le plomb sera fortement utilisé jusqu'à la Seconde Guerre mondiale.

Même si *"le cuivre est un des métaux les plus anciens que l'on connaisse..."*⁴¹, sa principale fonction résidait dans la conception d'armes d'objets et de reliques. *"6 000 ans avant Jesus-Christ, on utilisait déjà le minerai de cuivre en Anatolie (Turquie) pour fabriquer des outils. Plus tard, on y ajouta l'étain : c'était le début de la fabrication du bronze (Âge du Bronze)"*⁴¹. Les premiers usages pour *"les applications sanitaires proprement dites ont été inventés en Egypte, où des tubes de cuivre réalisés à l'aide de feuilles transportaient l'eau (2 500 avant Jesus-Christ). Dans nos régions, l'usage du cuivre débute très tard "*⁴⁰, alors que *"le fer n'apparaissant que plus tard vers 1 800 avant J.-C."*⁴¹



Figure 69: Installation chauffe eau au gaz avec tube de cuivre.

Actuellement, et grâce à ces caractéristiques techniques, le cuivre est utilisé dans le domaine de l'électricité, du gaz et de la plomberie. *Il... "est, dans tous les cas, une garantie de qualité et de pérennité. Il répond à toutes les situations et toutes les problématiques (confort, sécurité incendie, économies d'énergie, remplacement du plomb, lutte contre la légionellose...)." Ses atouts sont uniques et il permet d'apporter la meilleure solution à chaque situation..."*⁴².

Dans le logement, il se trouve sous forme de tube de plusieurs diamètres (figure 70). Son installation demande un certain savoir et un savoir-faire. Fixé sur des embases, celui-ci doit donc respecter des rayons de courbures bien déterminés pour effectuer son chemin théorique lors de la réalisation de virages ou de casses. Pour cela deux méthodes s'appliquent. La première consiste à réaliser l'installation avec une cintreuse et



Figure 70: Tube de cuivre pour canalisation.

³⁸ Marcus Vitruvius Pollio, connu sous le nom de Vitruve, est un architecte romain qui vécut au 1^{er} siècle av. J.-C. .

³⁹ Extrait de: Alain Malissard, "Les Romains et l'eau"

⁴⁰ Extrait de: Pierre Dessers, "Tuyaux en cuivre", disponible sur: <<http://www.enseignons.be/uploadsecondairebatiment29-10-07Tuyaux-en-cuivre.pdf>>

⁴¹ source Wikipédia disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Âge_du_fer>

⁴² Extrait de: Institut Européen du Cuivre, "Le tube de cuivre pour chaque usage", disponible sur <<http://copperalliance.fr/services/documentation-technique/documentation-tube-cuivre>>



Figure 71: Cintreuse pour tube de cuivre.



Figure 72: Outil de coupe pour tube de cuivre.



Figure 73: Eléments de raccord pour tube de cuivre.

un outil de découpe (figure 71 et 72). La seconde consiste à utiliser des éléments pré-faits (figure 73). Les deux méthodes peuvent également s'associer.

L'acier, quant à lui, est essentiellement utilisé pour le transport des conduites d'adduction. *"Elles sont destinées au transport des gros débits d'eau, souvent entre la station de traitement et le réservoir. Elles ont un diamètre important (supérieur à 1 000 mm)".*⁴³ Il peut également être utilisé avec de plus petits diamètres, mais son usage est destiné au système installation fixe d'extinction automatique à eau (IFEA ou IEA) pour lutter contre un départ d'incendie. *"En France, 10 % des canalisations d'eau potable ont plus de 50 ans et 44 % ont plus de 30 ans. Les canalisations installées avant 1970 sont majoritairement en fonte. Les canalisations installées après 1970 sont majoritairement en plastique (PVC-PEHD)"*⁴⁴. Les fuites sont des problèmes qui engendrent des pertes de l'ordre de 40 %.

Depuis environ l'année 2003, vient se greffer dans le monde du bâtiment le Polyéthylène réticulé à haute densité ou PER. C'est une matière qui a subi des modifications chimiques et physiques, le but étant de parvenir à une haute densité de matière afin de résister à de hautes températures. Son utilisation peut être appliquée aux réseaux d'eau sanitaire (chaude et froide) ou en réseau de chauffage. Maintenant, en termes d'évacuation, le PVC prend le relais sur les autres matières. Sa facilité de mise en œuvre par assemblage et collage en fait un produit phare.



Figure 74: Tube PER .



Figure 75: Installation PER pour chauffage.



Figure 76: Evacuation PVC dans vide sanitaire.

⁴³ Extrait de iDrop#2, "Les types de canalisations", disponible sur: <<http://idrop2.weebly.com/distribution/les-types-de-canalisation>>

⁴⁴ Extrait de Wikipédia, "Canalisations", disponible sur: <<https://fr.wikipedia.org/wiki/Canalisation>>

Indispensables de tous les jours, nous ne les remarquons même plus. Les robinets sont les objets dont nous nous servons le plus et nous considérons leur présence comme normale. Pourtant, leur présence n'était pas si évidente que cela. Comme nous l'avons évoqué précédemment, les premières villes, dites antiques, ne disposaient pas de ce précieux objet. Plus tard cette invention permettra de faire de grandes économies en matière de consommation d'eau potable.

Pour son origine, "le mot "robinet" vient de robin qui, dès le Moyen Âge, désignait un mouton. En effet, l'extrémité des tuyaux des fontaines publiques était souvent ornée d'une tête de mouton stylisée, thème décoratif très courant. L'usage des robinets semblait établi au XVIIe siècle comme l'atteste la locution "tenir le robinet" qui signifiait "pouvoir disposer et user d'une chose à volonté". Lorsque la distribution d'eau courante succède aux fontaines à réservoir, c'est naturellement que la pièce qui permet de laisser passer ou de retenir le flux d'eau conserve l'appellation de robinet. En 1835, on dit d'un bavard prolix et insipide qu'il est un "robinet d'eau tiède".⁴⁵



Figure 77: robinet gallo-romain.

Malgré cette omniprésence de représentation animale pour les arrivées d'eau des fontaines, des écrits relatent la présence de système similaire au robinet déjà bien avant la période du Moyen-Âge : "Par contre, Dédale⁴⁶, trois mille ans avant Mansart, montre plus de raffinement que l'architecte de Versailles. Le palais de Minos possède une salle, avec baignoire et canalisation souterraines pour l'évacuation des eaux. On s'étonne même de découvrir là le premier W.C. avec chasse d'eau..."⁴⁷

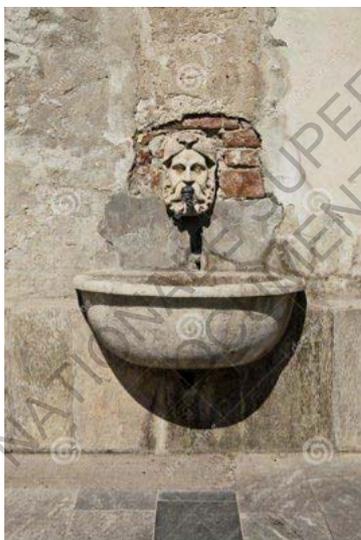


Figure 78: Fontaine italienne antique d'un lion fait de marbre



Figure 79: robinet de nos jours

⁴⁵ Extrait de Marillys Macé, "Histoire de robinet", publié le 29 août 2012, disponible sur: <<http://www.marillysmace.com/eau-du-robinet/histoire-de-robinet/>>

⁴⁶ Personnage de la mythologie grecque, principalement connu pour être un inventeur, un sculpteur et un architecte dont le talent était exceptionnel.

⁴⁷ Extrait de Jean Renald, Lucien Vieville, Brigitte Friang, "Les grandes énigmes des civilisations disparues, tome 1, page 34.

Une dernière matière rentre dans la course : la fibre de verre. "Spécifiquement développés pour fournir des solutions de tuyauterie à faible coût utilisables pendant 50 ans, les tubes en PRV (polyester renforcé de fibres de verre) sont 10 fois plus légers qu'un tuyau béton, 20 % moins chers, plus facile à manipuler et à installer, et insensibles à la corrosion"⁴⁸. Cette récente méthode peut venir en revêtement intérieur sur des canalisations existantes. Ce procédé permet aussi de combler les fuites existantes et donc de réduire les pertes en eau potable.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

⁴⁸ Extrait de: techniques de l'ingénieur, "Les tubes en polyester renforcé de fibres de verre pour remplacer le béton ?", posté le 27 mars 2010, disponible sur: <<http://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/les-tubes-en-polyester-renforce-de-fibres-de-verre-pour-replacer-le-beton-24443/>>

C. Distribution, intégration et analogie au logement

1. Distribution et intégration au logement

Au fil des siècles, toutes ses techniques ont permis de rendre plus confortables nos logements. La technique et les matériaux auront largement contribué aux besoins qui sont les nôtres. Mais un point s'impose sur l'intégration de nos trois "lots" MEP dans le logement.

Même si l'invention de l'électricité reste la plus importante de notre siècle, elle n'en est rien sans la complémentarité de la lampe à incandescence. Le dépôt du brevet du 4 novembre 1879 et celui du 20 janvier 1880 sont dus à deux hommes : Edison et Swan. Ils ont apporté à l'humanité un profond changement sociétal en bouleversant nos modes de vie, nos besoins personnels et professionnels.

"De la galère au robinet" serait un titre possible dédié à un documentaire sur la distribution de l'eau au quotidien. Il faut vraiment prendre conscience de la chance que nous avons de vivre dans notre époque. Nous percevons la distribution de l'eau courante comme normale. Or sa normalisation n'est pas si lointaine que nous le pensons.

En France, c'est "au milieu du 19e siècle,"⁴⁸ que "la généralisation de la machine à vapeur rend possible la réalisation de réseaux d'adduction sous pression desservant les logements individuels..., l'arrivée du Baron Georges Eugène Haussmann (1809-1891) à la préfecture de Paris agit comme un accélérateur. Le préfet Hausmann confie à Eugène Belgrand (1810-1878), ingénieur et géologue, la responsabilité du service des eaux et des égouts de Paris. La capitale se lance alors dans de grands travaux, le système de canalisations (de distribution) connaît un développement extraordinaire, chaque immeuble, chaque maison de la capitale bénéficie de l'eau courante. C'est aussi à lui que l'on doit le réseau de tout à l'égout de la capitale".⁴⁹

Par la suite, le mode de consommation est repensé. Le principe de filtration lent par décantation et coagulation fait de nouveau son apparition. Cette première étape va donner à l'eau une certaine qualité. Mais "c'est au début de l'ère industrielle que naquirent les premières sociétés de distribution de l'eau potable : la Compagnie Générale des Eaux (aujourd'hui Veolia Eau) en 1853 et la Lyonnaise des Eaux en 1880. La SAUR a été créée plus récemment en 1933. À partir de 1880, l'essor de la microbiologie, sous l'impulsion de Pasteur, Koch (tuberculose) et Eberth (typhoïde), ouvre une nouvelle ère dans l'approche de l'alimentation en eau potable. La corrélation entre eau de mauvaise qualité, contaminée par les microbes et épidémies, est démontrée : "Nous buvons 90 % de nos maladies " ".⁵⁰

⁴⁹ Extrait du site: Cieau, "l'eau potable pour tous, une conquête récente", disponible sur: <<http://www.cieau.com/l-eau-potable/l-eau-potable-pour-tous-une-conquete-recente>>

⁵⁰ Extrait du site: Cieau, "l'eau potable pour tous, une conquête récente", disponible sur: <<http://www.cieau.com/l-eau-potable/l-eau-potable-pour-tous-une-conquete-recente>>

L'accès à l'eau potable de qualité aux foyers français commence dans les années 1930, "seulement 23 % des communes disposent d'un réseau de distribution d'eau potable à domicile et en 1945, 70 % des communes rurales ne sont toujours pas desservies. Il faut attendre la fin des années 1980 pour que la quasi-totalité des Français bénéficient de l'eau courante à domicile".⁵¹

De nos jours un système bien plus complexe assure la distribution d'une eau de qualité. Prélevée dans des nappes, elle est rendue potable puis stockée. Distribuée aux usagés et industries, elle est de nouveau récupérée et traitée dans des stations d'épuration et ensuite injectée dans la nature. En revanche les industries sont censées faire leur propre traitement. Au milieu du 19e siècle, la généralisation de la machine à vapeur rend possible la réalisation de réseaux d'adduction sous pression desservant les logements individuels.

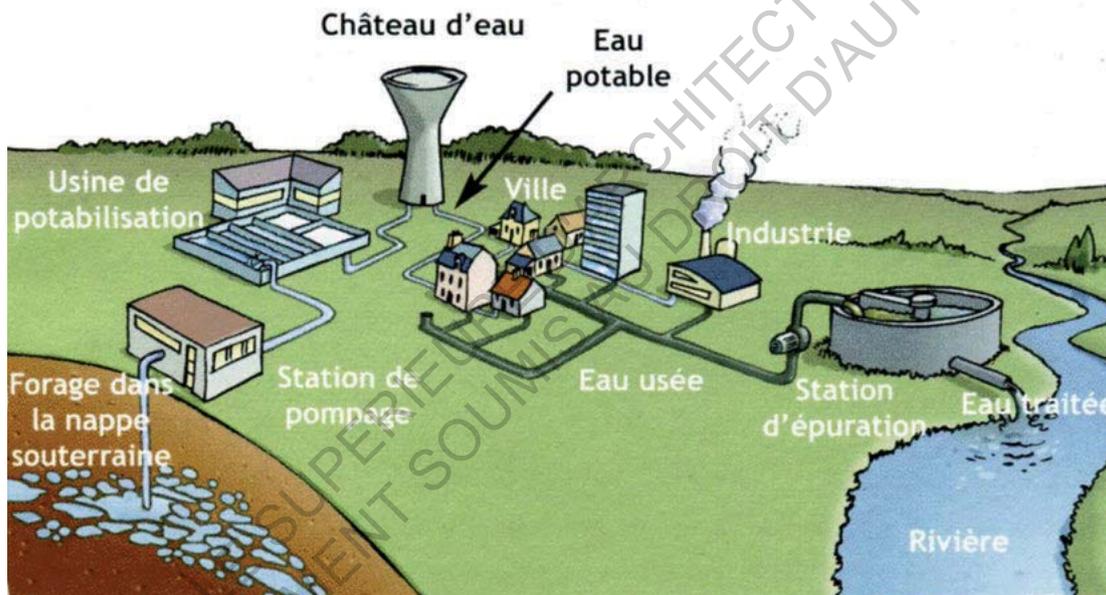


Figure 80: Schéma de principe du traitement de l'eau.

⁵¹ Extrait du site: Cieau, "l'eau potable pour tous, une conquête récente", disponible sur: <http://www.cieau.com/l-eau-potable/l-eau-potable-pour-tous-une-conquete-recente>

2. Analogie au corps humain

L'espace habité, un espace conçu par l'homme, pour l'homme." *Ainsi, on pourrait comparer une habitation au corps humain dont l'entrée serait la bouche, les couloirs et vestibules les vaisseaux sanguins, les fenêtres les yeux, le toit et le grenier la tête, la cuisine et la salle à manger symbolisant le système digestif et les w.c... le système intestinal...*"⁵². Le lien entre corps et habitat est si fort que "les ancêtres des Inuits passaient l'hiver dans des habitations en os de baleine..."⁵³

Sans vouloir basculer dans le spirituel, c'est en premier temps une question de physique qui nous mènera au lien entre habitat et corps humain. Pour nous donner cette position verticale, que nous avons acquise au fil des siècles, nous avons dû nous doter d'une structure qui n'est autre que notre squelette. Cette belle évolution répond à l'obligation des trois plans dans l'espace pour en obtenir une stabilité. Ce principe se retrouve dans le logement. Les fondations comme la structure porteuse d'une construction répondent à ce même principe.



Figure 81: La maison en paille humaine

Après l'aspect structure, vient ensuite la peau qui sert d'enveloppe externe au corps. "Elle remplit plusieurs fonctions vitales : elle assure une protection des couches superficielles de l'organisme et des organes, elle permet des sensations par les réseaux nerveux à sa surface, elle régule l'hygrométrie et la température du corps, elle participe pour une petite part à la respiration, elle absorbe des éléments nutritifs (vitamines, minéraux, etc.). Ces fonctions sont aussi celles qui sont demandées à l'enveloppe de l'architecture : la protection contre les intempéries et contre les agressions, la régulation thermique et hygrométrique par l'isolation et la nature des matériaux utilisés, la respiration (ventilation ou échange par les parois), la sensation (relation de la construction avec son environnement proche), la nutrition (lumière, matières)"⁵⁴

Après cette première analyse, il nous reste à examiner la partie interne liée aux organes. Et c'est là, que l'analogie trouve un lien très fort avec le sujet choisi. Sans nos poumons, il nous est impossible de vivre. Sans notre système nerveux, il nous est impossible de commander nos muscles. Et sans notre système digestif, il nous est également impossible de vivre.

Ce dernier nous permet, par un lent processus, de pouvoir mastiquer, disloquer, d'assimiler des aliments et d'évacuer les parties non utilisées. Dans un logement, la plomberie fonctionne sur le même principe. Une arrivée principale apporte l'eau potable

⁵² Extrait du site: Vivarchi, "L'architecture expression vivante du corps humain", article publié dans la revue d'IFMA France, disponible sur: <http://www.ateliers-habitatvivant.fr/mon_approche/fichiers_PDF/mon_approche/la_maison_miroir.pdf>

⁵³ Extrait de: recherche polaire, "Un habitat ancestral en Arctique : la maison en os de baleine", publié le 10.04.2008, disponible sur: <<http://recherchespolaires.inist.fr/?Un-habitat-ancestral-en-Arctique>>

⁵⁴ Extrait du site: Vivarchi, "L'architecture expression vivante du corps humain", article publié dans la revue d'IFMA France, disponible sur: <<http://www.vivarchi.com/spip.php?article7>>

aux arrivées du foyer, et le système d'évacuation élimine les eaux usées (vannes et grises).

L'électricité possède son propre domaine de contrôle. Elle est dans le logement un élément qui permet de contrôler ou de disposer de nombreux équipements afin d'agrémenter le confort de celui-ci. Elle contribue également à un changement profond du comportement social de l'homme. Dans le corps humain *"sans cette énergie électrique, notre corps ne pourrait pas fonctionner. L'électricité est d'une importance vitale pour notre survie, pour notre habilité à parler, de bouger nos muscles, et de sentir le monde autour de nous. En l'absence du courant électrique, les fonctions vitales s'arrêtent, et l'individu peut être atteint de paralysie. Tous les membres du royaume animal ainsi que les êtres humains communiquent, agissent et utilisent leurs cinq sens par l'intermédiaire de l'électricité produite dans leurs corps..."*⁵⁵

Quant à la ventilation, le corps humain la gère par le biais des poumons qui permettent de *"réaliser les échanges gazeux entre le corps humain et l'air ambiant. Ces échanges ont lieu au niveau des alvéoles, où le sang est alors enrichi en oxygène et appauvri en dioxyde de carbone"*.⁵⁶ Dans le bâtiment, le principe est similaire. Cette ventilation est assurée par la porosité des murs anciens ou des mécanismes récents de ventilation.

Pour donner un exemple architectural, il y a le centre Pompidou. Alors que 99,99 % des constructions réalisées cherchent à dissimuler l'aspect technique relatif aux MEP, Renzo Piano et ses associés ont pris le parti de tout mettre à l'air, symbolisant ainsi les entrailles du corps humain exposées aux regards de tous.



Figure 82: Centre Pompidou

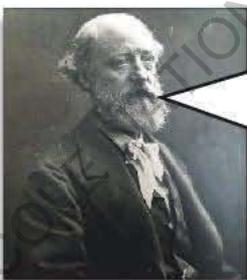


Figure 83: Eugène Viollet-le-Duc (1814-1879)

Le style est, pour l'œuvre d'art, ce que le sang est pour le corps humain; il développe, le nourrit, lui donne la force, la santé, la durée.

⁵⁵ Extrait du site: harunyahya.fr, "L'électricité: l'énergie essentielle du corps", disponible sur: <<http://www.harunyahya.fr/fr/Articles/42641/lelectricite--lenergie-essentielle-du>>

⁵⁶ Extrait du site: futura-science, "Fonctions du poumon", disponible sur: <<http://www.futura-sciences.com/sante/definitions/biologie-poumon-7024/>>

D. L'essentiel

Avec cette troisième partie, nous pouvons voir que l'histoire des MEP s'étale sur une grande période et passe par une lente évolution. Cela commence par la maîtrise du feu qui apportera comme chacun le sait : cuisson, chaleur et sécurité. L'évolution des MEP passe également par une étape essentielle qui est celle de la sédentarisation de l'Homme.

Ce phénomène aura comme impact la réalisation de constructions, qui se feront dans un premier temps, aux abords des cours d'eau. L'augmentation constante de personnes dans les villes poussera les populations à s'éloigner des rives. L'eau étant nécessaire à notre survie et à la culture des terres, l'homme devra en maîtriser son acheminement. Cet acheminement donne naissance aux premières canalisations dont les techniques seront propres à chaque région et à chaque culture. Dans le monde de la construction, la ventilation sera une véritable préoccupation. Dès les premiers habitats, le foyer prendra une position centrale et devra donc disposer d'une évacuation pour laisser s'échapper les fumées produites par la combustion du foyer.

Le bois, la pierre et la terre cuite sont les éléments par excellence. Ils serviront tant pour la construction que pour l'acheminement de l'eau ou même la réalisation d'un système de chauffage ou de ventilation. L'utilisation du bois pour l'acheminement de l'eau ne se fera que dans les régions où il se trouve en abondance (montagne, forêt dense). Le bois sera principalement exploité pour le chauffage. Avec le temps, l'Homme appliquera un mélange des techniques. Par exemple, la tour à vent unit ventilation naturelle et refroidissement. Dans un autre exemple l'hypocauste associe la ventilation naturelle et le chauffage, créant ainsi l'ancêtre du chauffage central. Plus tard les métaux comme le cuivre, l'acier, le plomb prendront le relais et s'inviteront dans le domaine du CVC, de l'électricité et de la plomberie.

Ce n'est qu'avec le développement de la science que le domaine du MEP connaîtra de grands bouleversements. La "première révolution" passe par le domaine de l'électricité et de sa maîtrise. Mais c'est principalement avec la lampe à incandescence que le changement sera le plus probant dans le logement. Cette invention va à jamais modifier notre mode de vie. La dernière évolution passe par la matière plastique. Sa rapidité de mise en œuvre lui permettra de prendre part dans tous les domaines du MEP.

Il est également important de comprendre la nécessité des différents éléments composant les domaines du MEP. Pour cela l'analogie du corps humain et de celle d'un bâtiment reste très parlante. Il est aussi nécessaire de conserver à l'idée que les réseaux MEP ont toujours existé sous différentes formes et qu'ils demeurent aujourd'hui vitaux à nos constructions.

IV. État des lieux

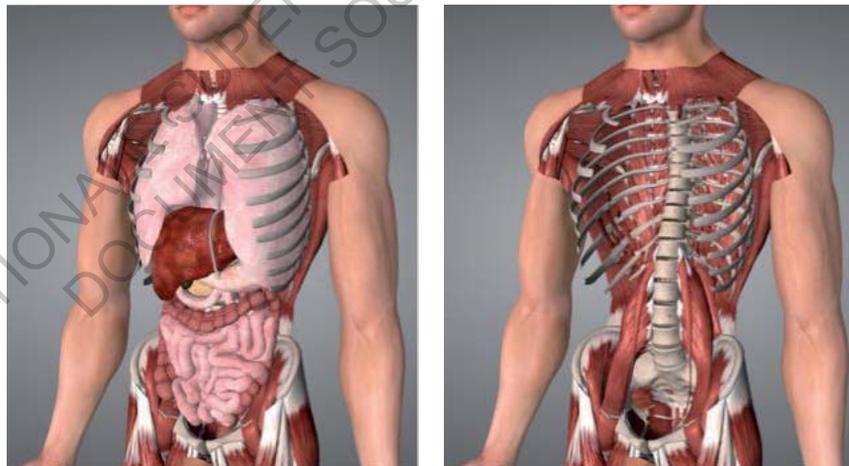
A. Comprendre le sujet

Dans cette partie nous allons orienter notre regard sur la relation qu'il peut exister entre architecture, architecte et MEP. C'est avant tout deux mondes qui sont en soi assez éloignés. À vrai dire architecture ne rime pas du tout avec ventilation, électricité ou bien même plomberie, et pourtant...

Comme nous l'avons vu en amont, la maison et le corps humain sont étroitement liés. Notre peau sert de première barrière de protection à nos organes internes. En architecture l'enveloppe d'un bâtiment, même si elle est souvent très proche liée à la structure, reprend la même fonction que celle de notre peau. Face à l'environnement que la terre nous procure, elle permet de nous protéger du froid, du chaud, de la pluie, des animaux,...

Une fois affranchi de l'orientation architecturale, il ne faut pas perdre de vue que la réalisation d'un bâtiment de nos jours ne répond plus aux mêmes besoins et exigences que celle d'antan. Comme nous l'avons vu précédemment, il est vrai que la science a grandement contribué à faire évoluer le milieu du bâtiment.

Sans nos poumons, notre système digestif ou bien notre système nerveux, notre structure osseuse et notre enveloppe ne nous seraient pas de grandes utilités. Il nous serait tout simplement impossible de vivre (figure 84). Le logement répond aux mêmes exigences. Vivre dans un logement totalement hermétique nous serait impossible.



Avec nos "MEP"

Sans nos "MEP"

Figure 84: Vision du corps humain sans nos "MEP".

De nos jours, il est impensable de concevoir un projet sans prévoir une installation électrique convenable. Nos besoins nous demandent de prévoir des prises électriques pour un four ou une plaque électrique. Cette nécessité va plus loin et permet également de penser une ambiance par le biais de l'éclairage.

Le confort de vie que nous possédons actuellement passe par la gestion des circuits de distribution d'eau domestique, des eaux grises et noires, des eaux pluviales et des installations sanitaires. Dans une autre utilisation, la plomberie peut également servir des fins sécuritaires avec une installation fixe d'extinction automatique à eau (IFEA ou IEA) nommée aussi sprinkler.

Dans les premiers temps de l'architecture les éléments constituant les MEP n'étaient pas du tout intégrés aux logements. C'est avec l'évolution de nos besoins qu'ont commencé à apparaître les premières intégrations des MEP dans les logements, qu'ils soient collectifs ou individuels. Mais il ne faut pas essentiellement se focaliser sur le principe de réhabilitation. Le neuf fait également parti de cette nouvelle problématique que sont les MEP.

Il est pour cela intéressant de croiser tout ces éléments avec le domaine de la conception dont l'exercice de notre futur métier sera en charge de concevoir. Il est vrai que, même si des enseignants de l'ENSA de Toulouse nous mettent en approche par le biais du projet ou d'autre matière, avec cet aspect de la conception, il est important de développer le sujet plus en détail. C'est en cela que je me suis posé les questions suivantes auxquelles je vais tenter d'apporter un autre regard dans cette quatrième partie :

- À quel moment l'architecte doit-il penser et intégrer ces éléments dans son projet ?
- Quel est le niveau de connaissance, maîtrise, l'architecte doit-il avoir pour chaque domaine ?
- Quelle est la limite de représentation ?

B. Normes

Les Normes ! Un bien grand mot, heureusement incontournable à l'heure actuelle. Mais qu'est-ce qu'une norme concrètement : *"Une norme est un document de référence comportant des solutions à des problèmes techniques et commerciaux qui se posent de façon répétée dans les relations entre les acteurs économiques, techniques et sociaux. Elle forme le consensus entre l'ensemble des acteurs d'un marché ou d'un secteur d'activité. Une norme est d'application volontaire"*⁵⁷.

Et à quoi servent-elles ? Concrètement les normes servent de référence. Elles simplifient le dialogue entre les différents acteurs par le biais d'un langage commun. *"En harmonisant les règles et les pratiques, la norme permet aussi une saine concurrence. Ainsi, les entreprises qui respectent les NF DTU, sont réputées offrir à leur client un même niveau de qualité."*⁵⁶

Historiquement elles sont apparues à des moments variés dans l'évolution de la construction. Le départ de celles-ci commence, vers le début du XX^e siècle (1907), avec la mise en place de l'Union Technique de l'Electricité (UTE). La plus grosse évolution se fera après la seconde Guerres Mondiales, mais un prémisses verra le jour entre les deux Guerres Mondiales. D'une manière générale leurs buts premiers sont d'assurer une protection des personnes et par la suite une protection des biens. Cela permet de rendre plus sûr le monde de la construction dans les différents corps d'état et d'éviter les malfaçons.

L'état étant souverain les évolutions dans le monde du bâtiment ont toujours été marqués par des arrêtés ou des décrets ceci afin d'encadrer légalement les actes. Globalement les avancées légales sont mises en place pour remédier à un problème concret issu de faits réels ou d'évolution des connaissances.

Le législateur n'ayant pas compétences pour résoudre des problèmes d'ordre techniques, il se voit appuyer par l'AFNOR (Association Française de NORmalisation). Créée en 1926, *"l'AFNOR est une association de loi 1901. Elle est administrée par un conseil d'administration de 30 membres au plus, représentant notamment les intérêts des entreprises et professions, des consommateurs, des ONG agréées, des partenaires sociaux, des collectivités territoriales et des pouvoirs publics."*⁵⁸

*"En France, la normalisation et sa promotion ne sont pas assurées que par l'AFNOR. Il existe des organismes délégués par AFNOR et agréé par le Ministère chargé de l'industrie comme bureaux de normalisation sectoriels. Par contre le rôle d'orientation et de coordination lui est confié par le décret du 16 juin 2009."*⁵⁷

⁵⁷ Extrait du site: BNTEC, "Qu'est-ce qu'une norme ?", disponible sur: <<http://www.bntec.fr/qu'est-ce-qu'une-norme>>

⁵⁸ Extrait du site: France normalisation, "Gouvernance", disponible sur: <<http://www.francenormalisation.fr/gouvernance/>>

Le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) fait partie des organismes agréés par l'Etat. Il "...a pour mission de garantir la qualité et la sécurité des bâtiments, et d'accompagner l'innovation de l'idée au marché. Le CSTB rassemble des compétences pluridisciplinaires pour développer et partager les connaissances scientifiques et techniques déterminantes et pour apporter aux acteurs les réponses qu'ils attendent dans leur pratique professionnelle.

Le CSTB exerce pour cela, 4 activités clés : recherche et expertise, évaluation, certification et diffusion des connaissances. Son champ de compétences couvre les produits de construction, les bâtiments et leur intégration dans le quartier et la ville."⁵⁹

Pour éviter les problèmes, les normes ont donc été codifiées. La principale est le Document Technique Unifié (DTU). "Les DTU donnent les informations relatives aux caractéristiques des matériaux à employer, aux règles de mise en œuvre illustrées par de nombreux détails constructifs et points singuliers, à la consistance des travaux à réaliser et aux interactions avec les autres intervenants et aux conditions de réalisation des essais et de la réception."⁶⁰

Un NF DTU n'est pas un texte réglementaire. C'est un document d'utilisation volontaire comme la plupart des normes AFNOR. "Les NF DTU précisent les conditions techniques de bonne exécution des ouvrages. Destinés à être incorporés dans les marchés de travaux de bâtiment, ils sont le fruit d'un consensus entre les diverses parties intéressées : entrepreneurs, maîtres d'ouvrages, fournisseurs, architectes, bureaux de contrôle.... Ils sont en grande majorité élaborés et révisés par le BNTEC, bureau de normalisation des techniques et équipements de la construction du Bâtiment, animé par les Unions et Syndicats de métiers de la FFB (Fédération Française du Bâtiment)"⁶¹.

Il existe, par contre, des exceptions. Certaines normes sont rendues obligatoires. "L'application obligatoire d'une norme est caractérisée par la référence à la norme dans un texte réglementaire comme moyen unique de satisfaire aux exigences du texte.

En effet, bien qu'une norme soit par principe d'application volontaire, les Pouvoirs publics peuvent, par exception, rendre tout ou partie d'une norme d'application obligatoire, en prenant un texte réglementaire spécifique à cet effet.

Conformément à l'article 17 du décret n° 2009-697 relatif à la normalisation, les normes ainsi rendues d'application obligatoire sont consultables gratuitement sur notre site Internet à l'adresse suivante : <<http://www.boutique.afnor.org>> rubrique "Normes en ligne".⁶²

⁵⁹ Extrait du site: CSTB, "Missions et activités", disponible sur: <<http://www.cstb.fr/cstb/missions-activites/>>

⁶⁰ Extrait du site: Batipédia, "Le REEF DTU", disponible sur: <<http://editions.cstb.fr/Products/Reef-DTU.html>>

⁶¹ Extrait du site: Fédération Française du Bâtiment, "LES NF DTU", disponible sur: <<http://www.ffbatiment.fr/federation-francaise-du-batiment/le-batiment-et-vous/travaux/les-nf-dtu.html>> en bas de page.

⁶² Extrait du site: France normalisation, "Les normes d'application obligatoire", disponible sur: <<http://www.francenormalisation.fr/les-acteurs-de-la-normalisation/normes-obligatoires/>>

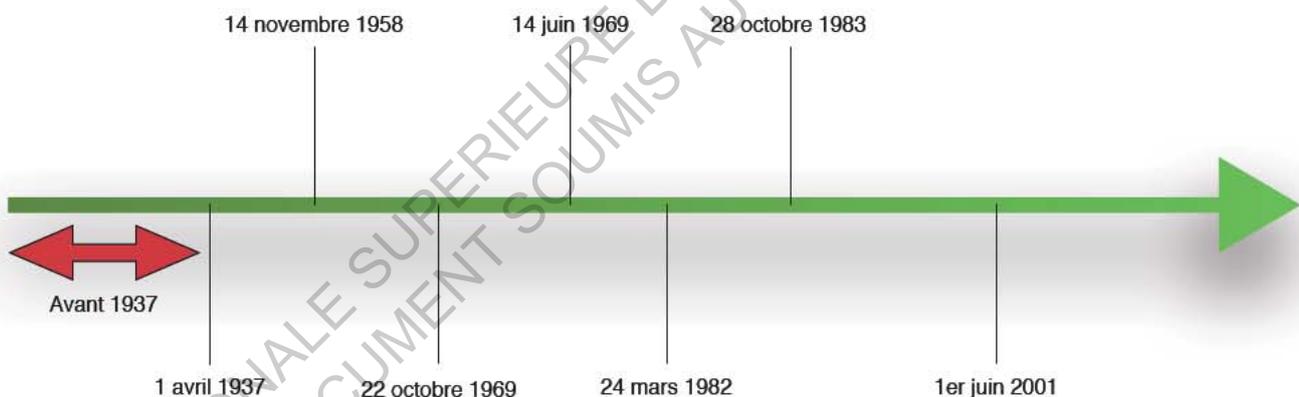
1. Mécanique (CVC)

Le domaine du CVC regroupe à lui seul trois parties : le chauffage, la ventilation et la climatisation. Qu'il soit individuel ou collectif, un logement intègre automatiquement la notion de ventilation comme l'impose la réglementation actuelle. À cela viennent se greffer deux autres composantes qui remplissent la fonction d'apport de chaleur ou d'apport de fraîcheur. Et oui ! C'est le paradoxe que demandent les constructions de nos jours. Être étanche mais ventilé, ventilé et conserver la chaleur ou la fraîcheur.

Les installations de ventilation sont régies par le NF DTU 68.3 qui encadre les systèmes mécaniques. Elles visent en particulier à apporter de l'air neuf, afin notamment d'éviter les situations de confinement et permettre le bon fonctionnement des appareils à combustion, évacuer l'air vicié et lutter contre l'humidité et les condensations. La complexité des différents systèmes et leurs impacts sur l'environnement doivent orienter le traitement du sujet par des professionnels compétents.

D'un point de vue historique les normes dans les logements ont évolué à partir de 1937. La frise chronologique ci-après apporte une vision d'ensemble des différentes évolutions, qui ont toujours été marquées par un arrêté ou un décret, ceci afin d'encadrer légalement les actes.

Figure 85: Frise chronologique de l'évolution de la ventilation dans le bâtiment



- **"Avant 1937, aucun texte ne définissait de dispositions concernant l'aération des logements. Les logements construits avant cette date peuvent donc ne comporter aucun dispositif spécifique de ventilation. Dans ce cas, l'aération s'effectue principalement par les défauts d'étanchéité et l'ouverture des fenêtres.**
- **Le 1er avril 1937, le premier règlement sanitaire départemental impose la ventilation permanente du cabinet d'aisances. La VMC fait ses débuts en Suède lors de la guerre de 1939-1945.**

- **L'arrêté du 14 novembre 1958** « aération des logements » (JO du 18 novembre 1958) fixe les dispositions ayant pour objet d'assurer en permanence le renouvellement d'air des pièces principales et des cuisines, de telle manière que soient maintenues de bonnes conditions de salubrité en ce qui concerne l'air expiré et les condensations. Les pièces principales des logements à simple exposition et celles équipées de baies vitrées étanches doivent comporter des ouvertures d'entrée d'air et des ouvertures d'évacuation d'air. Les cuisines doivent comporter des ouvertures totales d'au moins 150 cm² destinées à l'évacuation de l'air.
En 1967 les premières entrées d'air autoréglages françaises sur le marché national sont de marque ANJOS (type L30).
- **L'Article 8 du décret n°69-596 du 14 juin 1969** fixant les règles générales de construction des bâtiments d'habitation stipule que « les logements doivent bénéficier d'un renouvellement de l'air et d'une évacuation des émanations tels que les taux de pollution de l'air intérieur du local ne constituent aucun danger pour la santé et que puissent être évitées les condensations, sauf de façon passagère ».
- **L'arrêté du 22 octobre 1969** « aération des logements » (JO du 30 octobre 1969) fixe le principe de la ventilation général et permanente par balayage : l'air entre dans les pièces principales du logement par des orifices d'entrée d'air et est extrait dans les pièces de service soit par des conduits à tirage naturel, soit par des dispositifs mécaniques. Le taux de renouvellement d'air est d'environ une fois le volume des pièces principales par heure.
La ventilation naturelle est toujours possible mais la VMC devient réglementaire. Apparition de la première centrale double-flux en 1974.
- **L'arrêté du 24 mars 1982** « dispositions relatives à l'aération des logements » (JO du 27 mars 1982) maintient le principe de la ventilation générale et permanente mais introduit la notion de modulation du débit d'extraction par dispositif manuel. Les exigences sont exprimées en débits d'air extrait dans chaque pièce de service. Les valeurs données pour chaque pièce de service sont fonction du nombre de pièces principales du logement. Les débits exigés sont réduits par rapport à ceux exigés par l'arrêté de 1969.
- **L'arrêté du 28 octobre 1983** « dispositions relatives à l'aération des logements » (JO du 15 novembre 1983) modifie les dispositions de l'arrêté du 2 mars 1982. Par ce texte, l'aération peut être assurée par un dispositif mécanique qui module automatiquement le renouvellement d'air du logement (système de ventilation hygroréglable).
- **l'arrêté du 29 novembre 2000** ordonne que l'aération des logements construits à partir du 1er juin 2001 sont soumis aux exigences de la réglementation thermique 2000 définies par et entériné par le décret n° 2000-1153 du 29 novembre 2000. La RT 2000 s'applique à tous les projets dont le dépôt de permis de construire est postérieur au 1er juin 2001.⁶³

⁶³ Extrait de: Corinne Iannaccone, "Etat de la ventilation dans les logements Français", CSTB, publier le 16 juin 2008, disponible sur: http://www.oqai.fr/userdata/documents/211_dossier_ventilation_des_logements_ok.pdf

2. Electrique

"La réglementation des installations électriques est déclinée dans un ensemble de textes divers : guides, normes, décrets d'application... qui ont comme fil conducteur le texte normatif bientôt centenaire : la norme NF C 15-100.

Née en 1911 sous le titre "Instructions concernant les conditions d'établissement des installations électriques de première catégorie dans les immeubles et leurs dépendances", plus sobriement "publication 137", la norme s'est appelée successivement C 11, NF C 11, USE11 au fil du temps et de son enrichissement technique. C'est en octobre 1956 que la norme devient NF C 15-100, lors du classement méthodique adopté par l'UTE, mais la vraie refonte du texte est liée à la publication du décret du 4 novembre 1962 concernant la protection des travailleurs. La norme apparaît alors sous son aspect actuel : classement en dix chapitres, prise en compte des risques de contacts directs et indirects, apparition des dispositifs différentiels. Plusieurs évolutions seront introduites. La dernière version date de 1991, révisée par deux amendements en 1994 et 1995." ⁶⁴ Son dernier amendement date du 26 juin 2015.

Actuellement, la mise en œuvre d'une installation électrique est unifiée par le NF DTU 70-1 – Installations électriques. Elle a pour ligne directrice la norme NF C 15-100 relative à l'intérieur d'un logement, la NF C 14-100, spécifique aux colonnes électrique, la NF C 13-100, postes de livraison,. Dans un premier temps d'ordre volontaire, ces documents sont rapidement devenus obligatoires. Son respect assure une démarche de qualité et apporte sécurité aux personnes, animaux domestiques et aux biens. Mais ce n'est pas le seul document de référence.

L'UTE C 18-510 reprend le principe de la NF C 15-100. La différence entre les deux documents est que l'UTE C 18-510 ne se résume pas à l'installation électrique dans un logement qu'il soit collectif ou individuel. Son intérêt est de produire une réflexion plus approfondie du domaine de l'électricité. Il traite par exemple des procédures à acquiescer pour prétendre un niveau d'habilitation admis pour les professionnels électriciens, des procédures d'interventions électriques lors d'un dépannage sans ou sous tension ou même le descriptif des EPI (Equipement de Protection Individuel) et EPC (Equipement de Protection Collectif) qui sont obligatoires. Ce guide prend aussi en charge des notions de distance pour tous types de travaux et bien d'autres....

La norme UTE ne s'applique qu'au niveau national alors qu'au niveau européen le Comité Européen de Normalisation ELECTrotechnique (CENELEC) prend le relais. Il "... est responsable de la normalisation dans le domaine de l'électrotechnique. Le CENELEC prépare des normes volontaires qui facilitent les échanges entre pays, créent de nouveaux marchés, réduisent les coûts de conformité et soutiennent le développement d'un marché unique européen.

⁶⁴ Extrait du site: France normalisation, "Gouvernance", disponible sur: <<http://www.francenormalisation.fr/gouvernance/>>

Le CENELEC crée un accès au marché au niveau européen, mais aussi au niveau international, en adoptant des normes internationales dans la mesure du possible, grâce à sa collaboration étroite avec la Commission électrotechnique internationale (CEI), dans le cadre de l'accord de Francfort.

Grâce aux travaux de ses membres, en collaboration avec ses experts, les fédérations industrielles et les consommateurs, des normes européennes sont créées afin d'encourager le développement technologique, d'assurer l'interopérabilité et de garantir la sécurité et la santé des consommateurs et de protéger l'environnement.

Désigné en tant qu'organisme européen de normalisation par la Commission européenne, le CENELEC est une organisation technique sans but lucratif créée en droit belge. Il a été créé en 1973 à la suite de la fusion de deux organisations européennes précédentes : le CENELCOM et le CENEL."⁶⁵

Le CEI dispose d'un rôle vital. "Des millions d'appareils qui contiennent de l'électronique, et utilisent ou produisent de l'électricité, s'appuient sur les normes internationales IEC et les systèmes d'évaluation de la conformité pour effectuer, s'adapter et travailler en toute sécurité ensemble.

Fondée en 1906, la CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est la première organisation mondiale pour la préparation et la publication de Normes internationales pour toutes les technologies électriques, électroniques et connexes. Ceux-ci sont connus collectivement comme "électrotechnique".

La CEI fournit aux entreprises, aux industries et aux gouvernements une plateforme pour rencontrer, discuter et élaborer les normes internationales dont ils ont besoin.

Toutes les normes internationales de la CEI reposent entièrement sur un consensus et représentent les besoins des principales parties prenantes de chaque nation participant aux travaux de la CEI. Chaque pays membre, qu'il soit grand ou petit, dispose d'une voix et d'un mot pour ce qui est de la Norme internationale de la CEI."⁶⁶

⁶⁵ Extrait du site: CENELEC, "Who we are?", disponible sur: <<https://www.cenelec.eu/aboutcenelec/whoweare/index.html>>

⁶⁶ Extrait du site: IEC, "A vital role?", disponible sur: <<http://www.iec.ch/about/?ref=menu>>

3. Plomberie

Issue de la loi de 1902⁶⁷ sur la santé publique, et inspirées des hygiénistes, le domaine de la plomberie s'est vu encadré par plusieurs guides de normalisation. Depuis 1930 jusqu'à 1970 le code de la plomberie était dirigé par les NF P41-101, NF P41-102, NF P41-202. Ce n'est que vers 1960 que naissent les DTU (NF DTU 60.1, NF DTU 60.11, NF DTU 60.2, NF DTU 60.31, NF DTU 60.32, NF DTU 60.33, NF DTU 60.5). Le but de cette loi est avant tout de donner au maire de chaque commune une responsabilité propre afin d'assurer la salubrité des maisons et de leurs dépendances pour prévenir ou faire cesser les maladies transmissibles. Il sera responsable de l'alimentation en eau potable et de l'évacuation des matières usées des logements.

Ce mémoire n'a pas l'objectif de traiter tous les DTU de la plomberie, mais il reste nécessaire d'avoir une vision d'ensemble. Nous nous focaliserons sur les 60.1 et 60.11. Le premier *"document s'intéresse à la mise en œuvre pour les travaux d'exécution des canalisations d'alimentation en eau froide et chaude sanitaire à l'intérieur des bâtiments, neufs ou existants. Tous les calculs de dimensionnement seront pour leur part regroupés dans une deuxième norme (60.11), en deux parties, dont le contenu n'a pas encore été publié. Cette partie est cependant terminée."*⁶⁸

La dernière évolution du DTU Plomberie ne met pas en cause des problèmes de mise en œuvre. Les précédents DTU se souciaient plus d'avoir un débit correct d'eau au robinet (3 bars maximum) alors que la réflexion de la mise à jour s'oriente plutôt sur des critères de pollution (retours d'eau), d'hygiène et de santé (légionelle), de sécurité (risque de brûlures) et d'organisation des réseaux.

Le guide NF DTU 60.1 se voit divisé en cinq parties. Le premier volet traite du cahier des charges et des amendements A1 et A2. Le second s'occupe des traversées des canalisations dans les planchers, murs et cloisons. La troisième partie traite des distributions d'eau en tubes acier à l'intérieur des bâtiments. La partie quatre, regroupe les clauses spécifiques et le cinquième fait l'objet d'un mémento. Ne sont pas visés les travaux de réparation, les canalisations d'alimentation ventilées à l'air libre, les réseaux, les usages d'eau spécifique, de chauffage et de climatisation, d'irrigation enterrés ou non, d'incendie, d'adduction d'eau et la mise en œuvre des appareils sanitaires et ceux de production d'ECS.

D'autres DTU sont en liens avec ces deux premiers DTU. Le DTU 65.10 est divisé en deux blocs. Il correspond à l'ancien NF P52-305-1 et NF P52-305-2 de mai 1993. Respectivement ils traitent des clauses techniques et des clauses spéciales pour les règles générales de mise en œuvre des canalisations d'eau chaude ou froide sous pression et canalisations d'évacuation des eaux usées et des eaux pluviales à l'intérieur

⁶⁷ Loi 1902 , Journal officiel du 19 février 1902, "Mesures sanitaires générales", disponible sur: <http://afisp.free.fr/Loi_relative_a_la_protection_de_la_sante_publique.pdf>

⁶⁸ Extrait du site: Brossette, "PLOMBERIE : Que faut-il savoir sur les DTU 60.1 et 60.11 ?", disponible sur: <<http://www.brossette.fr/plomberie-que-faut-il-savoir-sur-les-dtu-60-1-et-60-11-XA306>>

des bâtiments. Certains DTU, plus anciens, sont également consacrés aux canalisations les DTU 60.2 pour les canalisations en fonte, les DTU 60.31, 60.32 et 60.33 pour les canalisations en PVC et le DTU 60.5 pour les canalisations en cuivre.

Le DTU 61.1 codifie la mise en œuvre des installations de gaz dans les locaux d'habitation et sur les règles de fixation des appareils sanitaires.

Les règles de conduite relatives à la température et d'hygiène sont intégrées dans l'arrêté de novembre 2005 qui explique comment maintenir une température minimale dans les réseaux, d'éviter les brûlures et même de prévenir les risques de légionelle. Le DTU 60.11 donnera pour la première fois une méthode de calcul des réseaux bouclés. Trois principes sont à respecter : isoler, équilibrer et éviter les bras morts (attente de l'arrivée de l'eau chaude dans un réseau).

Le DTU 60.11 apporte également une nouvelle révision a été apportée pour la mise en service des réseaux, avec de nouvelles indications sur le rinçage, le test d'étanchéité, la désinfection éventuelle et l'équilibrage des réseaux bouclés. C'est la norme européenne NF EN 14336 qui permet de vérifier la conformité des débits calculés selon.

La plus grosse révision de ce DTU 60.11 porte sur l'évacuation. Sa mise à jour est réalisée pour être en conformité avec la norme européenne qui présente 4 possibilités. La France ne retient seulement que deux possibilités sur les quatre : chutes séparées ou chute unique. C'est surtout le dimensionnement des évacuations qui se voit attribué de nouvelles méthodes de calcul. Seule l'approche française sur le calcul des eaux de pluies est en discordance avec le calcul européen. Le DTU reste cependant sur un calcul adapté à la pluviométrie de l'Hexagone. Il prend en compte un ratio de 3 l/min.m² de toiture.

La nouvelle évolution de la norme NF DTU ne vise pas non plus sur les travaux de réparation, les canalisations d'alimentation ouvertes à l'air libre (ventilée), les réseaux d'eau à usage spécifique (piscine, spa, hammam, eaux pour soin...), les réseaux de chauffage, de climatisation, les réseaux d'irrigation enterrés ou non, les réseaux d'incendie, les réseaux d'eau pour usage spécifique et les réseaux d'adduction d'eau.

C. MEP et Architecture.

Il est maintenant intéressant de faire un point sur l'ensemble de ces éléments. Comme nous l'avons vu jusqu'ici, l'évolution des techniques et des matières ont largement profité au monde de l'habitation. Le but de cette réflexion est donc de mettre en avant les problèmes qui peuvent être rencontrés si aucune anticipation de ces éléments (MEP) n'est faite en amont (et le plus tôt possible) en concordance avec les bureaux d'études relatifs.

1. Mécanique

Cette partie englobe trois domaines, qui sont le Chauffage, la Ventilation et la Climatisation. Cet ensemble crée le CVC. Le but de cette approche n'est pas de développer les trois parties et de décrire tous les problèmes liés à ses secteurs. Mon intention est de venir aborder par le biais de quelques exemples l'influence que peuvent avoir ces éléments sur la conception architecturale. Les observations qui vont suivre seront principalement orientées vers des logements collectifs même si la limite entre collectif et individuel est très proche. L'empilement de logements augmente automatiquement les problématiques.

Le premier sujet que nous allons aborder est celui du chauffage. La réglementation de l'arrêté du 23 juin 1978 est attribuée à la mise en œuvre des locaux chaufferies. Le tableau ci-dessous met parfaitement en relation la puissance de l'appareil et son lieu d'implantation. Cette obligation aura un impact direct sur la conception du projet.

Différents types d'Implantation	Pu < 2000 kW	Pu > 2000 kW
En sous sol	Autorisé	Interdit
En rez-de-chaussée	Autorisé	Interdit
En terrasse(1) ou au dernier niveau	Autorisé	Autorisé mais Pu ≤ 5000 kW ⁽²⁾
A l'extérieur	Autorisé	Autorisé

Figure 86: Normes implantation chaufferie.

¹ Chaufferie distante d'au moins 10 m des logements ou bureaux

² Plus la puissance unitaire de chaque générateur doit être 2000 kW

IMPLANTATION DE LA CHAUFFERIE		CARACTERISTIQUES (*) DES PAROIS			
		Murs latéraux	Plancher haut	Plancher bas	Couverture
En terrasse		MO	-	MO-CF 2 h	MO
A l'intérieur du bâtiment		MO-CF 2 h	MO-CF 2 h	MO-CF 2 h	-
En dehors d'un bâtiment	D ≤ 10 m	MO-CF 2 h	-	-	MO-CF 2 h
	D > 10 m	MO	-	-	MO

D : distance de la chaufferie au bâtiment
MO : matériaux incombustibles - CF 2 h : coupe-feu de degré 2 h

(*) A l'exception des ouvertures indispensables à la ventilation de la chaufferie

Figure 87: Tableau du comportement au feu.

À cette contrainte vient se greffer la notion de comportement au feu qui est résumée dans le tableau ci-après.

L'accès est également un élément à ne pas négliger. Son oubli peut avoir de fortes conséquences sur la conception. Voici par exemple quelques contraintes à prendre en compte (figure 88 et 89).

- La présence d'une seule issue à la chaufferie n'est admise que si la puissance utile totale installée est inférieure à 5000 kW. Deux issues sont obligatoires dans les autres cas de figure.
- Les portes doivent s'ouvrir de l'intérieur vers l'extérieur et être munies de serres anti-panic.
- Si la chaufferie est située à l'intérieur d'un bâtiment, elle doit comporter un accès direct par l'extérieur ou bien par des parties communes du bâtiment.

Le local lui-même fait l'objet de dimensions minimales. Une hauteur sous plafond de 2,20 m est le minimum requis. Un espace minimum de 50 cm entre les générateurs doit être respecté ainsi qu'un espace suffisant devant les générateurs doit être prévu pour l'exploitation et maintenance.

Différents cas	Remarques
En sous sol	Un accès de plain-pied avec une surface mini de 4 m ² obligatoire
En rez-de-chaussée	
Terrasse ou dernier niveau	Si la puissance utile totale installée est < à 2000 kW. L'issue doit être perpendiculaire au chemin menant à la cage d'escalier
A l'extérieur	Si la puissance utile totale installée est < 5000 kW

Figure 88: Accès chaufferie.

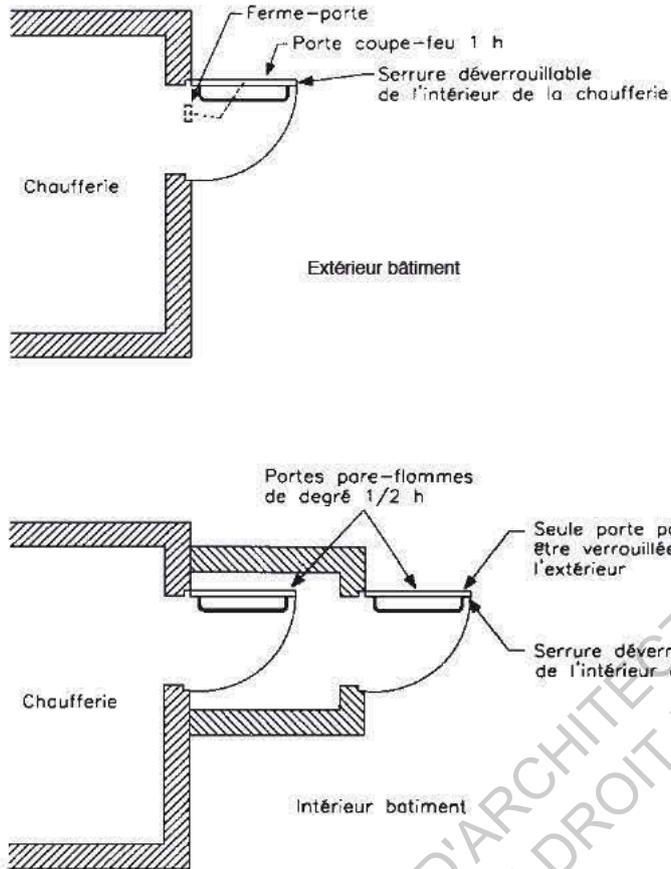


Figure 89: Différents accès sur local chaufferie.

La ventilation est également un point impactant sur la composition architecturale. Il est avant tout important de définir le rôle de la ventilation. Quelle soit pour le logement ou les locaux techniques le but reste le même. Elle doit, de façon permanente, permettre de fournir la quantité d'air nécessaire à la combustion de la chaudière mais également d'assurer le renouvellement d'air dans le local et d'évacuer la chaleur dégagée par les différents appareils. Pour le logement le renouvellement de l'air est le seul objectif.

Pour cela, des conduits de sortie seront positionnés soit sur des façades soit par des conduits internes aux logements avec des sorties en toiture. Il faut cependant faire attention aux hauteurs de dépassement réglementaires des conduits car ils peuvent devenir très rapidement disgracieux (figure 90).



Figure 90: Logements ZAC Bourrassol Toulouse.

La climatisation est elle aussi un problème. Si elle n'est pas anticipée lors de la conception d'un projet, qu'il soit neuf ou réhabilité, son installation peut compromettre le rendu en façade souhaité. Comme nous pouvons le voir sur la figure 91, l'installation du groupe froid en toiture dépasse de beaucoup des garde-corps que nous voyons en fond. Le rendu en façade est forcément impacté.

De plus, la figure 92 démontre bien cette nuisance. Un dispositif visuel est mis en place pour camoufler l'ensemble de l'installation du groupe froid en toiture. Ce dispositif remplit certainement la double fonction de briser le son émis par le groupe comme le préconise l'arrêté du 23 janvier 1997 relatif à la limitation des bruits émis dans l'environnement par les installations classées pour la protection de l'environnement.



Figure 91: Installation groupe froid en toiture.



Figure 92: Brise vue et sonore groupe froid en toiture.

Pour faire une petite conclusion sur le CVC, je pense que ce domaine n'est vraiment pas à prendre à la légère. Sa bonne gestion permettra de respecter la RT 2012 et bientôt la 2020. Même si ces trois éléments sont paradoxaux, il faut en tenir compte pour éviter de concevoir un logement avec les caractéristiques de la figure 9

- Plancher bas
- Ponts thermiques
- Toit
- Fenêtres
- Ventilation
- Murs

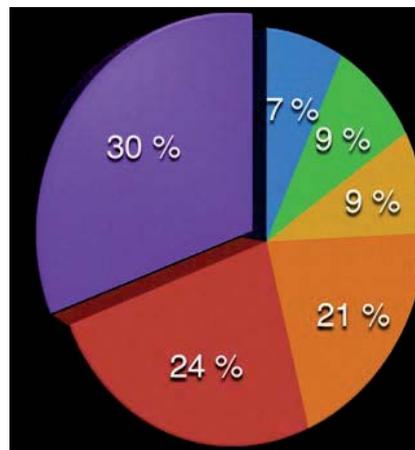


Figure 93: Camembert des répartitions des pertes thermiques

Dans la première phase, nous avons le réseau Haute Tension (HT) qui se voit diviser en deux tranches A et B (figure 94). La première, HTA, est vraiment considérée pour les hauts voltages alors que la partie HTB est plus considérée comme de la moyenne tension même si les deux parties appartiennent au domaine de la haute tension. Le passage entre ces deux tranches symbolise un changement de tension important et non négligeable.

C'est ce domaine de la Basse Tension (BT) qui se trouve être notre préoccupation première. Il faut, pour arriver à ce domaine de tension, encore passer par un transformateur abaisseur. C'est lui qui va permettre de desservir notre bâtiment à la tension voulue (230V monophasé, triphasé ou 400V).

		En courant alternatif	En courant continu lissé
Très basse Tension		Un ≤ 50V	Un ≤ 120V
Basse Tension Domaine BT*	BT	50V < Un ≤ 1 000V	120V < Un ≤ 1500V
Haute Tension Domaine HT	HTA	1000V < Un ≤ 50 000V	1 500V < Un ≤ 75 000V
	HTB	Un > 50 000V	Un > 75 000V

* La norme NF C 18-510 ne distingue plus les sous-domaines BTA et BTB.

Figure 95: Tableau des domaines de tension.

Même si généralement les postes HTA/BT en immeuble sont dimensionnés pour une puissance unitaire de transformation allant jusqu'à 1000 kVA, le problème réside dans son dimensionnement, qui est fonction de la puissance qu'il doit fournir pour subvenir aux besoins en aval et du type de transformateur utilisé (sec, bain d'huile,...). Bien entendu, cela se calcule. Ces paramètres sont à prendre en compte en sus des normes relatives aux DTU et Locaux à Risques Importants (LRI) en partenariat avec le bureau d'études spécifique.

En essayant de faire le plus simple possible, le choix de l'emplacement du poste dans l'immeuble doit être conforme à la norme NF C11-2013. Pour ce faire, *"le local doit être réservé aux personnes averties ou qualifiées. Il doit avoir un accès direct et permanent depuis une voie ouverte à la circulation publique afin de pouvoir en assurer une intervention et une manutention correcte et aisée."*⁶⁹

*"Si la distance entre la voie d'accès et le poste est inférieure à 5 m, il peut être admis un passage horizontal rectiligne de largeur de 1,2 m, et d'une hauteur libre de 4 m (déchargement du transformateur)."*⁶⁴

⁶⁹ Extrait de: SeQuelec, "Réalisation de postes HTA/BT de distribution publique", disponible sur: <http://www.enedis.fr/sites/default/files/documentation/SeQuelec_Guide_9.pdf>

Le local doit "être situé de préférence de plain-pied et "en angle" afin d'optimiser les ventilations qui doivent nécessairement déboucher directement sur l'extérieur du bâtiment. Cet emplacement est à privilégier également pour des contraintes d'installation, d'exploitation et de sécurité."⁶⁴ Il doit également "être étanche et à l'abri de toute pénétration d'eau. Aucune canalisation ou conduit autre que celles destinées au poste ne doit traverser le local."

Le local recevant le poste de transformation devient un local à risque important (LRI). Il doit donc répondre de certaines exigences. Les sols, les plafonds, les murs ou les parois doivent poser un degré de protection coupe-feu de 2 heures. Dans un cas de force majeur, si la porte du local donnait sur un local interne au bâtiment, celle-ci doit disposer d'un degré de protection coupe-feu de 2 heures et ne pas être en relation directe avec des espaces recevant du public.

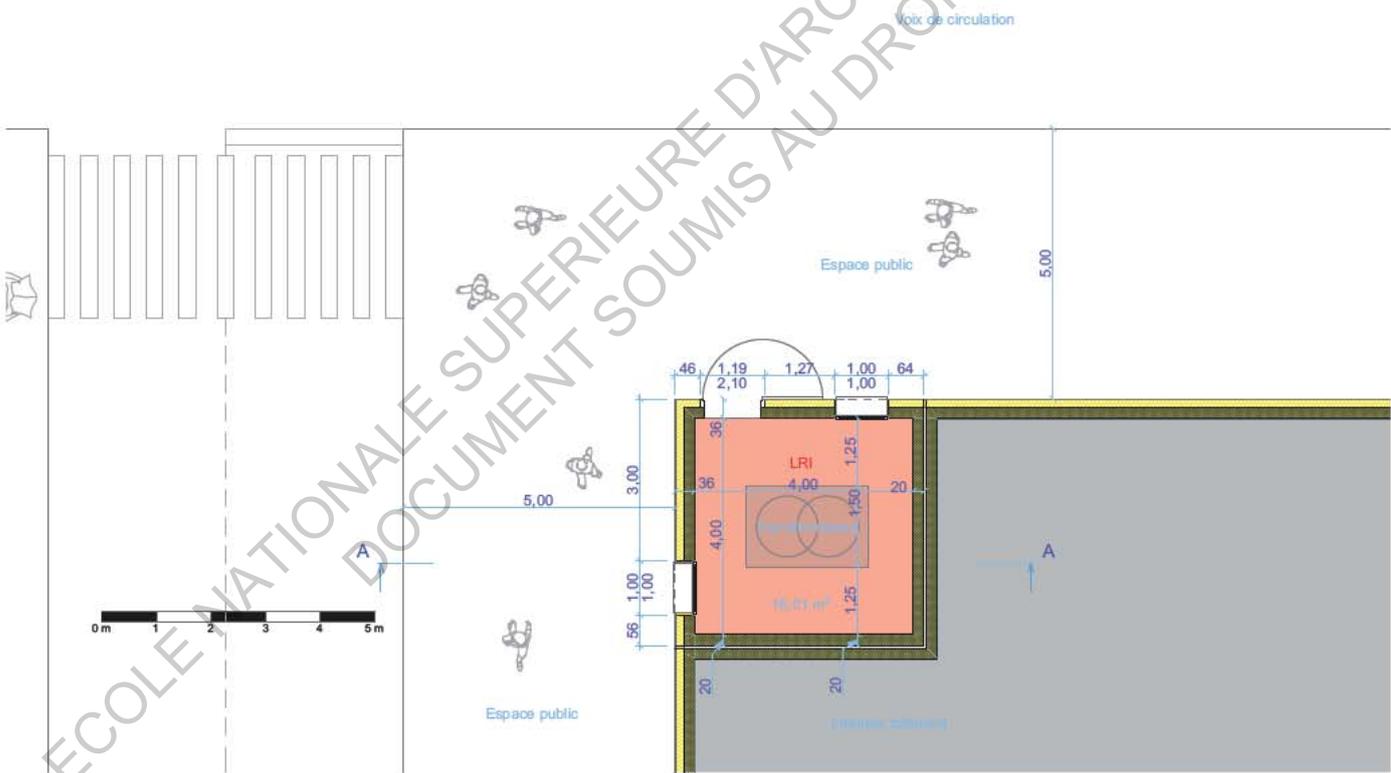


Figure 96: Plan poste de transformation

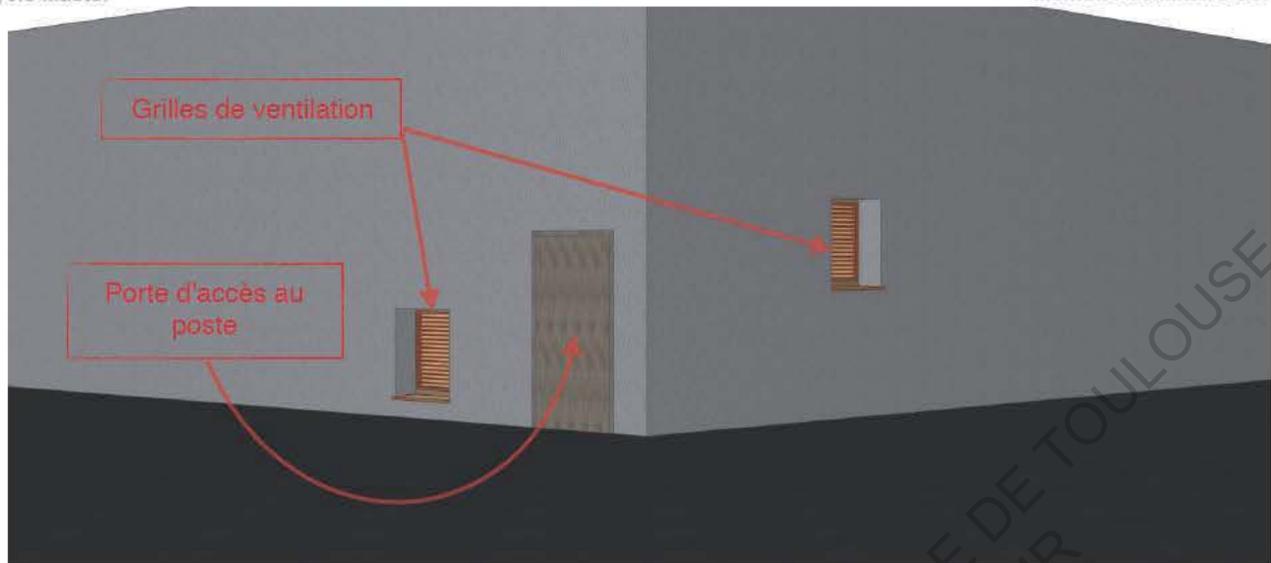


Figure 97: Perspective extérieure sur poste de transformation

La présence d'une fosse de rétention est obligatoire. Elle doit avoir un "*cuvelage étanche capable de récupérer la totalité du diélectrique liquide et comportant un dispositif assurant rapidement son extinction naturelle.*"⁶⁴

C'est avec ce premier exemple et ces contraintes, que nous, futurs architectes, devons composer nos projets. Il est important d'en avoir connaissance afin de les intégrer le plus tôt possible dans la conception. Leur ignorance ou même leur négligence peut être lourde de conséquence architecturale ou financière.

En sus de ce que nous avons évoquer en amont de cette réflexion, un autre élément est à prendre en compte est qui n'est pas évoquer jusqu'ici. La valeur énergétique du bâtiment a également un impact fort sur le croisement de ces normes et de l'architecture. Comme nous pouvons le voir sur l'exemple du plan du poste de transformation en figure 95, le fait d'isoler le bâtiment par l'extérieur à un impact sur la mise en place de la porte du poste de transformation.

La norme stipule que celle-ci doit s'ouvrir sur l'extérieur et sur 180° avec une butée de fin. Le positionnement de l'isolant sur la façade extérieure nous oblige à trouver (ou d'en proposer) une solution de mise en œuvre.

Le respect des normes incendie devient également problématique avec la mise en place d'une structure indépendante. Il est donc important de prendre en compte cette contrainte afin de trouver une mise en œuvre adéquate et avoir ainsi une continuité de l'isolant pour un rendu en façade souhaité.

Ce genre de locaux deviennent impactant sur un rendu de façade lorsque les contraintes de ventilation ne sont pas maîtrisées et anticipés. Comme nous pouvons le voir sur la figure 97, une porte est installée sur la façade avec un accès direct sur la voie

publique, mais se trouve également présente deux grilles de ventilation dont la surface unitaire doit être de 1 m².

Une première ventilation est installée en partie haute, elle est dite ventilation haute (VH). Alors que l'autre doit être positionnée en partie basse, elle est dite ventilation basse

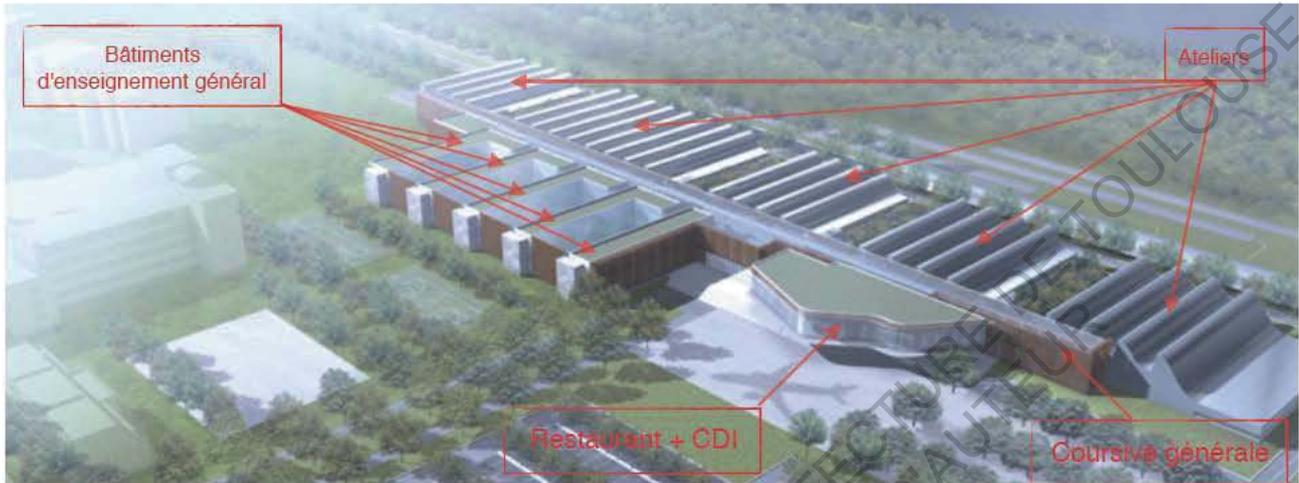


Figure 98: Vue aérienne du Lycée Gallieni de Toulouse.

(VB). Leur but étant d'assurer une bonne ventilation du local comme nous pouvons le voir sur la figure 97.

Les quelques remarques que je souligne, lors de cet exemple, ne représentent qu'un faible pourcentage des obligations à respecter lors de la mise en œuvre d'un poste de transformation. Pour de plus amples renseignements, il suffit, pour les plus curieux, de se référer au NF DTU 70.1 ou également au guide SéQuelec n° 9, disponibles sur internet.

Pour le deuxième exemple dans le domaine électrique, je vais orienter ma réflexion sur l'impact que peut avoir la sécurité incendie via le système d'asservissement sur un mur-rideau. Dans un premier temps je vais faire une brève explication sur le principe de l'asservissement.

Pour la mise en sécurité d'un bâtiment, généralement orienté pour des ERP ou industries, la réalisation d'un système de sécurité incendie (SSI) est imposée. Le principe de base de ce système d'asservissement est de mettre en relation une détection de présence d'incendie avec un principe de compartimentage, de désenfumage, de signalisations et d'arrêt technique pour d'autres systèmes (ventilation, ascenseur,...). Ce système étant très vaste et très complexe mais, néanmoins intéressant, c'est sur le principe de désenfumage que nous allons nous pencher.

Comme son nom l'indique, le désenfumage sert à extraire les fumées dans une pièce, ceci afin de permettre l'évacuation des personnes le plus sûrement possible et dans les plus brefs délais. Petit rappel des enseignements incendie : le délai de suivi = temps

d'alarme + temps d'évacuation. Une fois un feu déclenché, la menace d'être pris par les flammes est la principale pensée que les gens ont en tête mais elle n'est pas la seule. Les fumées sont tout aussi dangereuses que les flammes. Une pièce envahie par les fumées d'incendie empêche de voir les sorties de secours et provoque la panique des gens et réduit ainsi le temps d'évacuation. Une trop forte présence de fumées dans un local peut également provoquer l'asphyxie des personnes.

Pour ce faire, le désenfumage répond à cette problématique. Son but est de provoquer un filet d'air neuf dans une pièce obscurcie par les fumées ou d'en éviter qu'elle ne le soit. Afin de bien comprendre ce principe de fonctionnement, nous allons le voir au travers de l'exemple du projet de reconstruction du Lycée Gallieni de Toulouse. Soufflé le 21 septembre 2001 par l'explosion de l'usine chimique AZF, le lycée Gallieni a totalement été reconstruit et réouvert aux élèves pour la rentrée scolaire 2008.

Mon parcours professionnel, avant de rentrer au sein de l'ENSA de Toulouse, m'a permis de participer à la réalisation du Lycée Gallieni. Durant ce chantier, j'ai contribué à sa réalisation en tant qu'électricien qualifié. Mon rôle était d'effectuer le câblage du Système Sécurité Incendie (SSI) dans son ensemble. Cette expérience m'a donné l'occasion de voir un ingénieur faire des tests de soufflage devant les ventilations hautes (VH) et ventilation basse (VB) des espaces de circulations en liens avec les salles d'enseignements (figures 98 et 99).

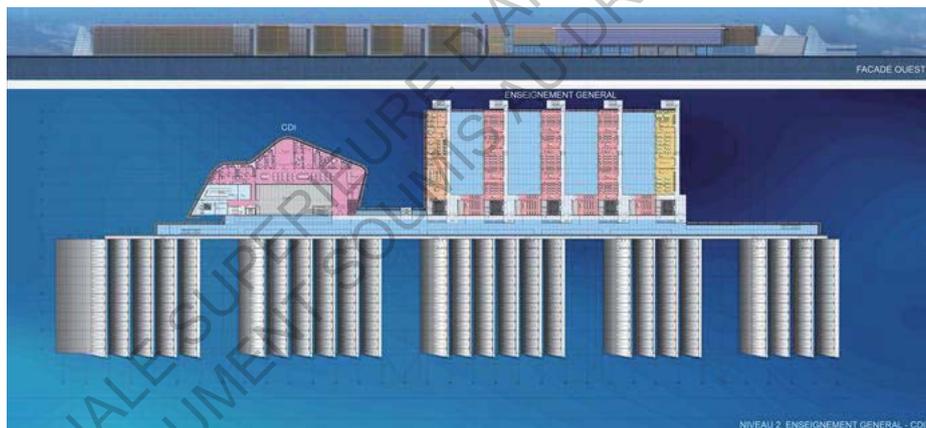


Figure 99: Plan R+2 du Lycée Gallieni de Toulouse.

C'est en croisant mon expérience professionnelle, avec les connaissances transmises par l'ENSA de Toulouse dans le cadre de mon mémoire, que j'ai pris conscience que le désenfumage pouvait avoir une influence sur la composition architecturale d'un mur-rideau.

Dans le cas du Lycée Gallieni, des bâtiments qui ont pour fonction de diffuser des enseignements d'ordre généraux sont positionnés perpendiculairement à la coursive générale qui distribue les ateliers, le restaurant et le Centre de Documentation et d'Information (CDI). Lorsque nous observons cette partie des bâtiments dits en "peigne",

nous remarquons qu'ils sont reliés par une toiture de verre. Cette jonction de verre crée un jardin avec un effet microclimatique. Ce choix architectural est propre à l'architecte et, pour mettre en valeur cet espace, le positionnement de murs-rideaux sur la circulation est tout à fait justifié. Ces murs-rideaux offrent une belle vue sur le petit jardin tout en laissant un apport de lumière généreux (figure 100).

Le "problème" de ce bâtiment est qu'il est classé ERP, il doit donc répondre aux

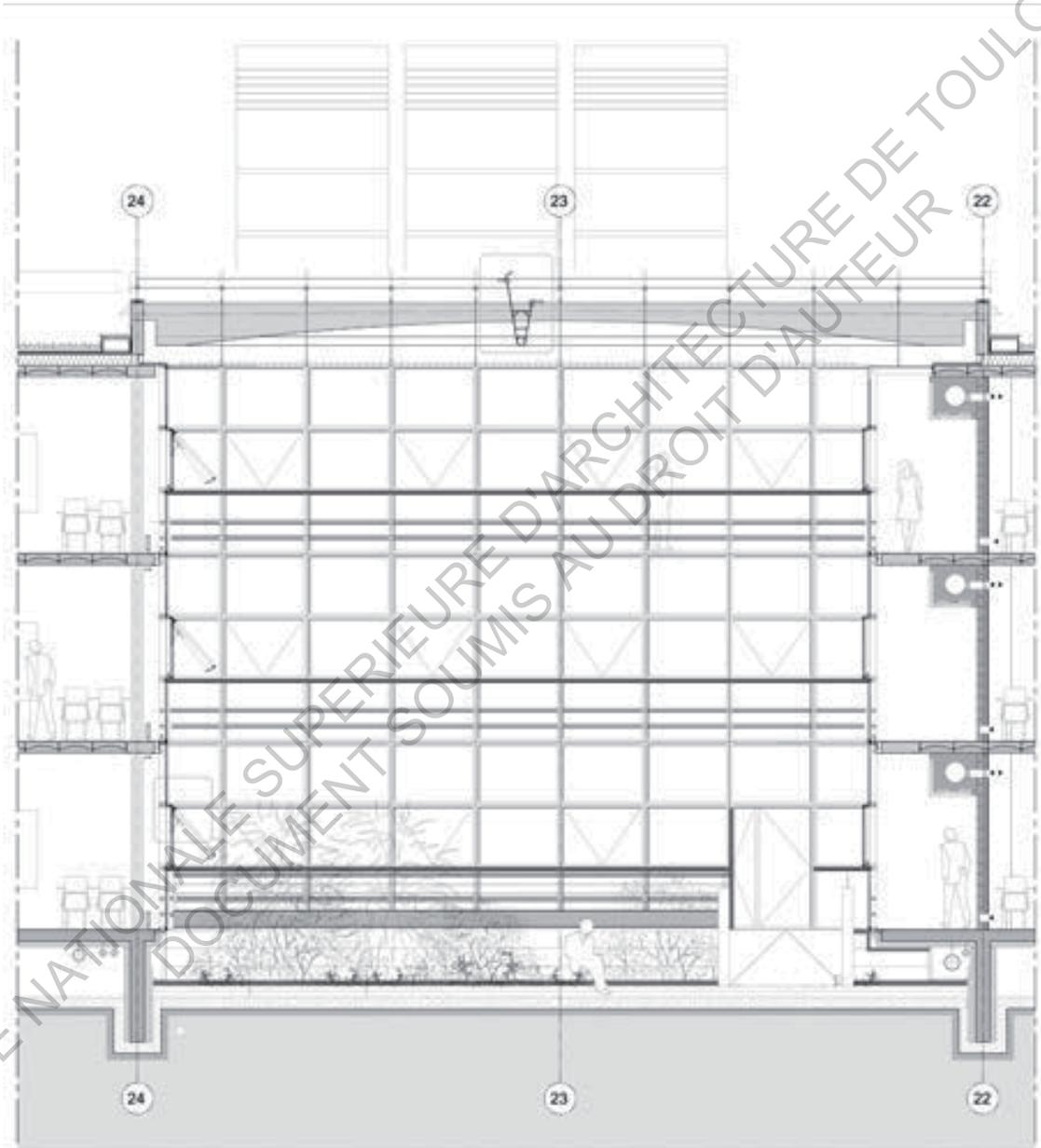


Figure 100: Coupe sur jardin avec zone micro-climatique.

normes d'évacuation. La présence d'un escalier en bout de bâtiment se justifie de par la

École nationale supérieure d'architecture de Toulouse _83 rue Aristide-Maillo1 _BP 10629 _31106 Toulouse cedex 1
Tél. : 33 (0)5 62 11 50 50 _Fax : 33 (0)5 62 11 50 99 _Courriel : ensa@toulouse.archi.fr _Site : www.toulouse.archi.fr

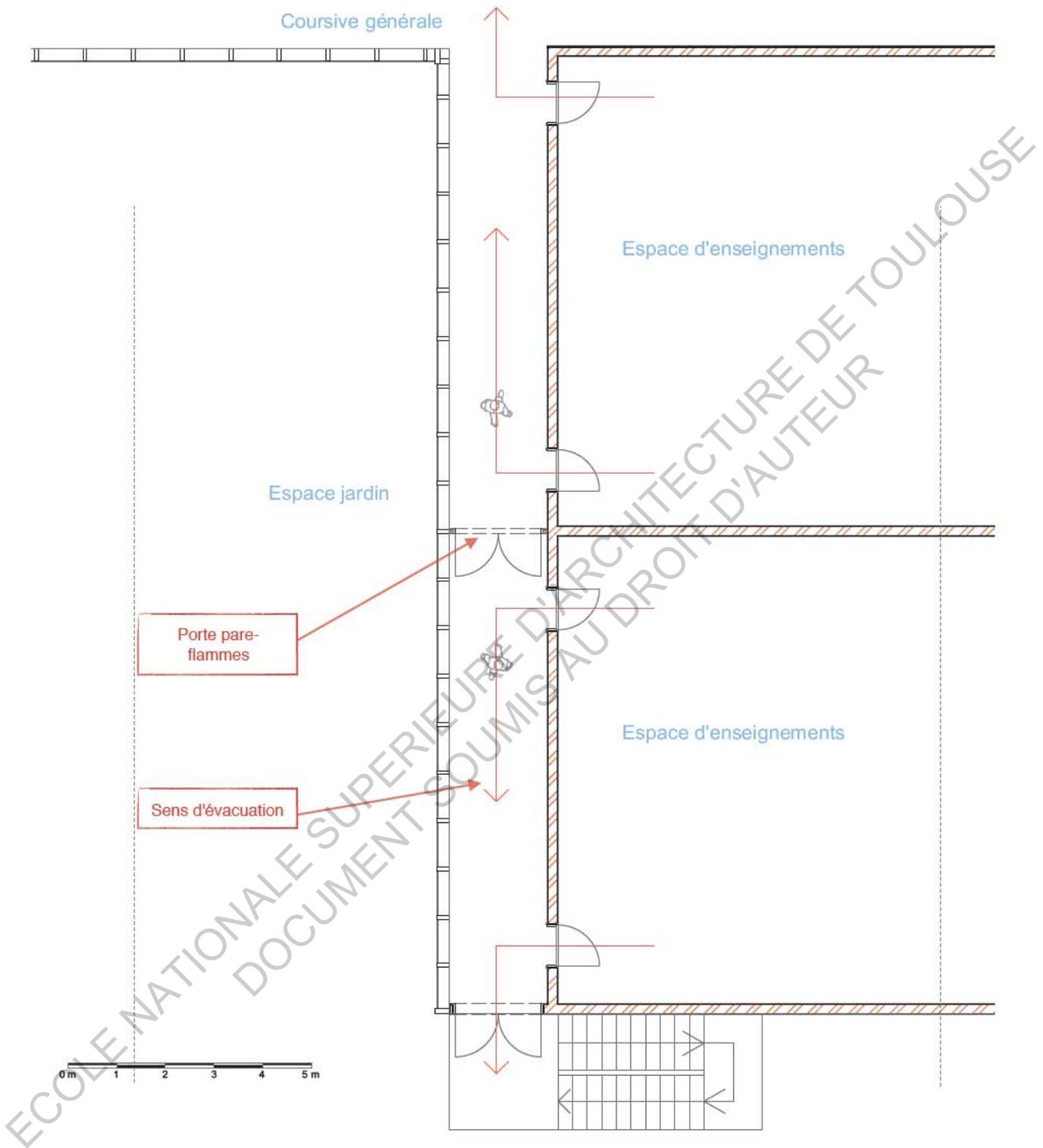


Figure 101: Coupe sur jardin avec zone micro-climatique.



Figure 102: Perspective sur circulation avec test anémomètre.

distance trop importante entre la dernière classe et la coursive générale (figure 99). Cet escalier permet donc de diviser en deux la distance d'évacuation. À ce constat se rajoute le principe de sectorisation et de désenfumage.

La sectorisation permet de condamner des espaces en deux par des portes pare flammes. Ce processus permet aux personnes de sortir par leur escalier dédié et ainsi ne pas venir encombrer les autres secteurs.

Pour que ce principe d'évacuation fonctionne correctement, il faut qu'un système de désenfumage soit présent. Il n'est pas question que durant un incendie les personnes soient asphyxiées par les fumées. Dans le cas de figure du Lycée Gallieni, un mur-rideau est présent directement sur les espaces d'évacuation. C'est donc celui-ci qui doit intégrer les trappes de désenfumage. Comme nous l'avons vu sur l'exemple du local recevant un poste de transformation, ces trappes doivent être positionnées en partie basse et haute afin d'assurer une dépression dans l'espace voulu.

Il ne faut cependant pas confondre désenfumer et attiser. Je m'explique. Le fait de créer un appel d'air, celui-ci ne doit pas servir à alimenter en énergie un brasier. Nous faisons tous le même geste, lors de nos barbecues d'été, de souffler sur les braises pour activer la combustion. Le principe est le même lors d'un feu dans un bâtiment. Petit rappel du cours d'incendie. Le feu a besoin de trois éléments indispensables pour prendre vie : un combustible, une source de chaleur et un comburant (l'oxygène dans l'air).

C'est avec ces éléments que j'ai fait le rapprochement lors du test de l'ingénieur, mes cours d'incendie et l'impact sur l'architecture. Lorsque j'ai observé cette personne faire son test, il a présenté un anémomètre devant les trappes de ventilation basse et haute afin de vérifier le débit d'air (figure 102). Curieux de son action, je lui demande la raison de cette manœuvre. Il m'a répondu que la vitesse du filet d'air servant à

l'évacuation des fumées dans le local doit être comprise dans une tranche de valeur afin de ne pas au contraire venir alimenter le brasier.

Et c'est là que la relation se fait entre architecture et MEP. Lors de la conception, l'architecte donne un calepinage au mur-rideau qu'il veut créer en fonction de son intention architecturale. Dans ce dimensionnement bien précis, il faut donc que les trappes de désenfumage se greffent dans cet espace. Imaginons qu'avec cette trame donnée et pour respecter les valeurs de soufflage, cela nous oblige, dans le cas d'une ouverture vers l'intérieure, à augmenter la course de l'ouverture de la trappe. Elle risque donc de venir faire obstacle à l'évacuation des personnes.

Pour résoudre le problème, ne suffit-il pas d'inverser le sens d'ouverture ? Cette solution a d'ailleurs été utilisée pour la réalisation du mur-rideau du projet de Gallieni. À vrai dire, la solution doit surtout être en accord avec l'intention du rendu architectural de la façade du mur-rideau souhaité. Le fait d'avoir le dormant positionné à l'intérieur ou à l'extérieur ne donnera pas du tout le même rendu. Le sens d'ouverture d'une trappe de désenfumage a un impact sur la composition d'un mur-rideau.

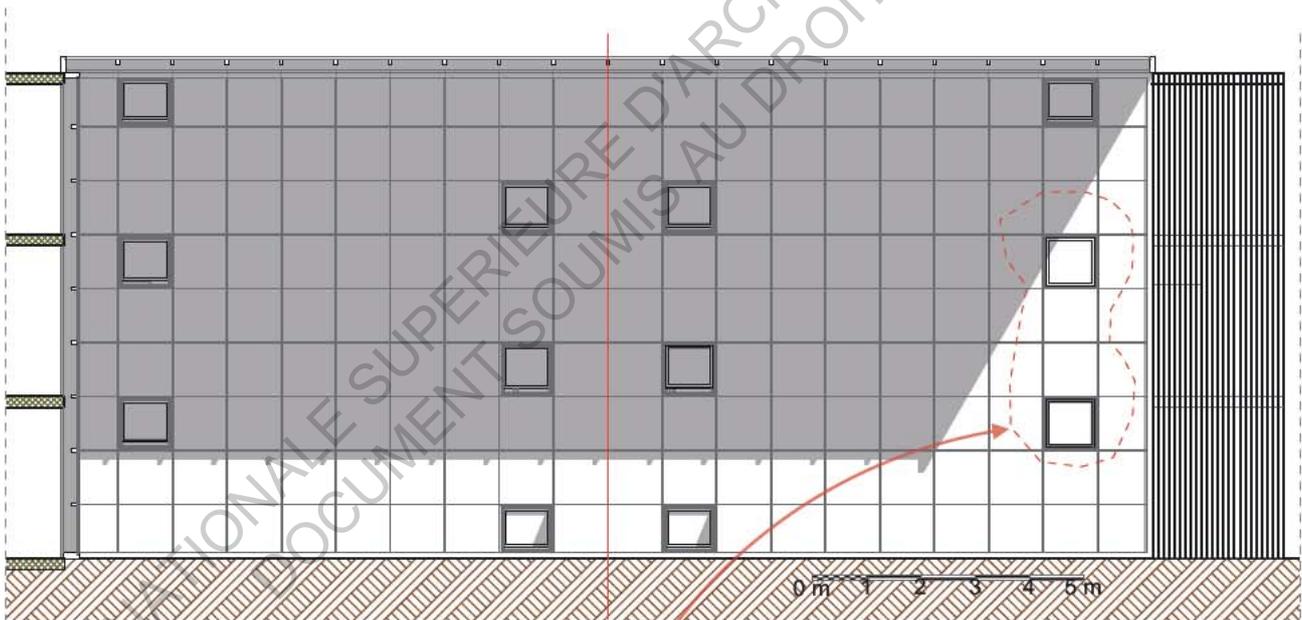


Figure 103: Façade mur-rideau en peigne lycée Gallieni.

Zoom sur trappes de désenfumage.

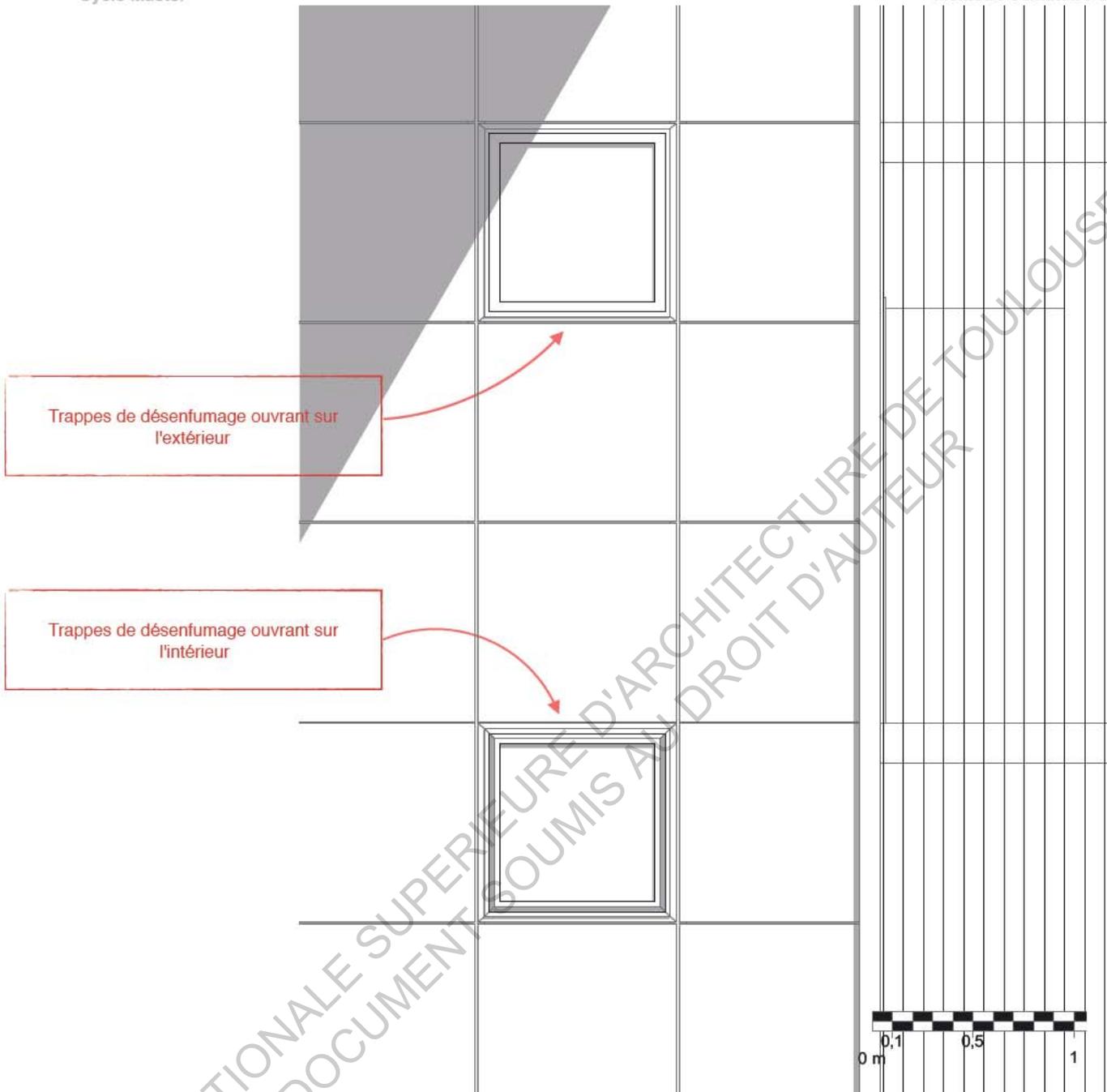


Figure 104: Zoom façade mur-rideau en peigne lycée Gallieni.

Suivant le nombre de logements présents dans le bâtiment, les colonnes montantes et descendantes auront un dimensionnement différent pour répondre à la nécessité de fonctionnement des évacuations des logements. Globalement, une gaine doit avoir comme minima 50x30 cm, dimension qui est variable suivant la demande.

3. Plomberie

La plomberie est ici le dernier domaine abordé des MEP. Son impact sur une conception architecturale n'est également pas à négliger. Dans le monde de la plomberie, il y a deux phases bien distinctes : la partie construction neuve de la partie réhabilitation.

Qu'ils soient neufs ou réhabilités, les MEP plomberies sont peu impactant sur le logement individuel ou la maison en R + 1, voire R + 2. Son impact est surtout visible sur des hauteurs supérieures. Lors de la création de bâtiments neufs, tous les éléments du MEP plomberie et autres sont pensés et intégrés dès le début de la conception du projet. Il faut tout de même faire attention au rendu en façade car ces éléments ont obligation de sortir en toiture.

C'est avec l'exemple des logements collectifs que nous allons développer cette partie. Imaginons un logement de 10, voire 15 étages. Il est fondamental que chaque logement soit desservi en EF et ESC. Il est également impossible de ne pas prévoir des évacuations à ces mêmes logements. C'est en effet cette dernière qui est la problématique de ma réflexion.

Sur un nombre d'étages importants, un bâtiment aura l'obligation de prendre en compte le cumul des logements pour le calcul du diamètre des éléments montants ou descendants. Il est logique que le dimensionnement d'une colonne montante ou descendante dans un logement collectif ne soit pas la même que pour un logement individuel.

*"Le NF DTU 60.11 fait également le point sur les règles techniques en termes de conception, pour la séparation des eaux usées et des eaux pluviales..."*⁷⁰ Ceci augmente encore le nombre d'éléments présents dans une colonne et aggrave son emprise sur la surface d'un logement.

Une autre problématique est soulevée de par le DTU qui *"...rappelle que toutes les colonnes de chute doivent être prolongées en vertical jusqu'à l'air libre, dans le même diamètre, afin de laisser une entrée d'air et ventiler la colonne - ce qui permet d'éviter une dépression dans la colonne et le risque de siphonnage des appareils sanitaires."*⁶⁹

Cette seconde contrainte a également un impact sur la façade d'un logement collectif. Les sorties doivent respecter une hauteur minimale de dépassement sur la toiture et elles seront plus ou moins visibles en façade suivant le positionnement des colonnes dans le logement. Il faut pour cela anticiper tous ces éléments (EU, EV, Ventilation,...) afin de voir s'ils sont conformes à l'intention architecturale de base. Sans oublier que depuis le dernier DTU, l'installation d'un évent⁷¹ est demandée en toiture.

Pour finir, je souhaite aborder un dernier point en relation avec la plomberie qui est, pour sa part, plus lié à une notion de sécurité incendie. Cet exemple rentre dans le cadre d'une réhabilitation de logement. Imaginons un logement positionné au-dessus d'un

⁷⁰ Extrait de: Guide Perrier, "Règles d'installation d'un drainage fonctionnel des eaux usées résidentielles", disponible sur: <http://www.guideperrier.com/article1211-1760/Regles-d-installation-d-un-drainage-fonctionnel-des-eaux-usees-residentielles>

⁷¹ Un évent de plomberie est un élément de canalisation qui se trouve positionné en toiture. Son rôle principal est de laisser l'eau s'écouler sans siphonner l'eau contenue dans les siphons des appareils sanitaires, pour éviter que les odeurs des égouts n'entrent dans votre maison.

vide qui sert lui-même de passage pour accéder à une cour intérieure desservant d'autres logements.

Le Service Départemental d'Incendie et de Secours (SDIS) doit absolument accéder à l'intérieur de la cour pour porter secours aux habitants des autres logements. Le passage doit donc respecter la hauteur minimale de 3,3 m plus une majoration de sécurité de 20 cm. Cela porte le passage à 3,5 m ce qui correspond grossièrement à un étage.

Il est donc compliqué de faire de la réhabilitation ou de la rénovation dans l'exemple présenté en figure 107. La cuisine, tout comme les toilettes, nécessite des évacuations qui sont automatiquement orientées par le bas du logement. Les EU et EV sont éliminées par gravité. Une solution devra être trouvée si le cas de figure se réalise. Un déport des canalisations sur le flan est-il possible ? Ou bien pouvons-nous regrouper les pièces humides en un seul point, afin d'avoir une seule et unique évacuation ? Une autre solution consiste à creuser le sol pour retrouver la distance réglementaire à l'accès des pompiers.

Bien sûr toutes ces hypothèses ne sont que pures théories, et le jour où un cas de figure se présentera comme celui-ci, il faudra utiliser son environnement proche.

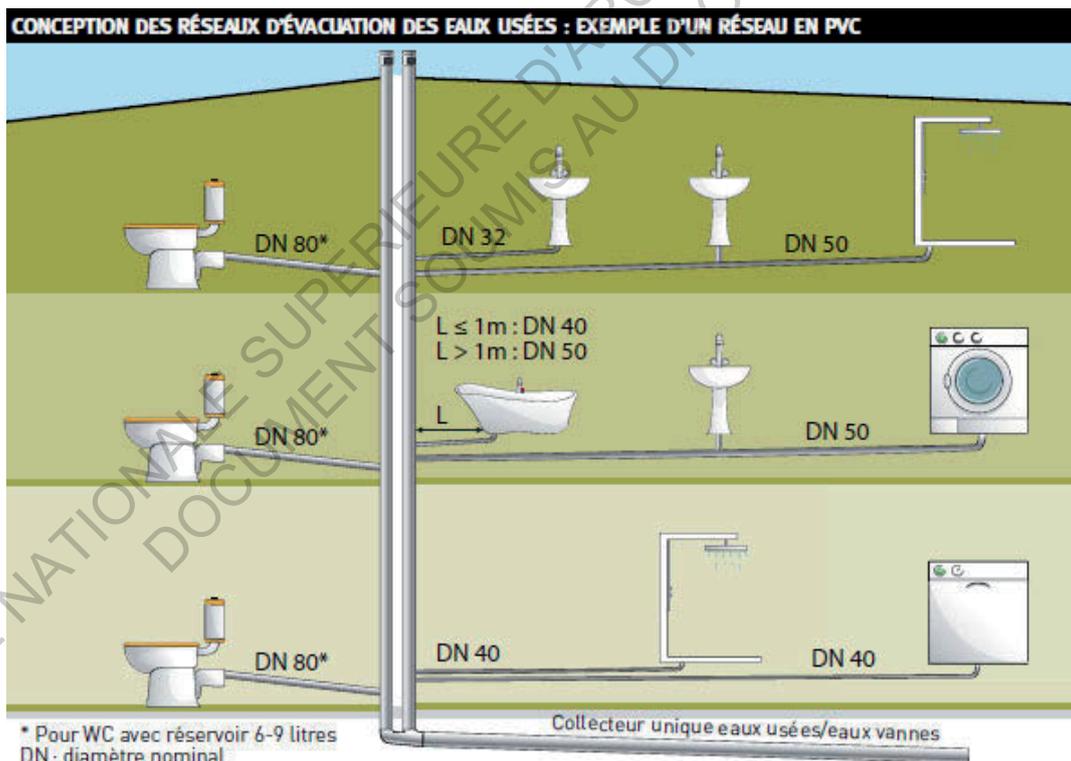


Figure 105: Coupe de principe évacuation étages.

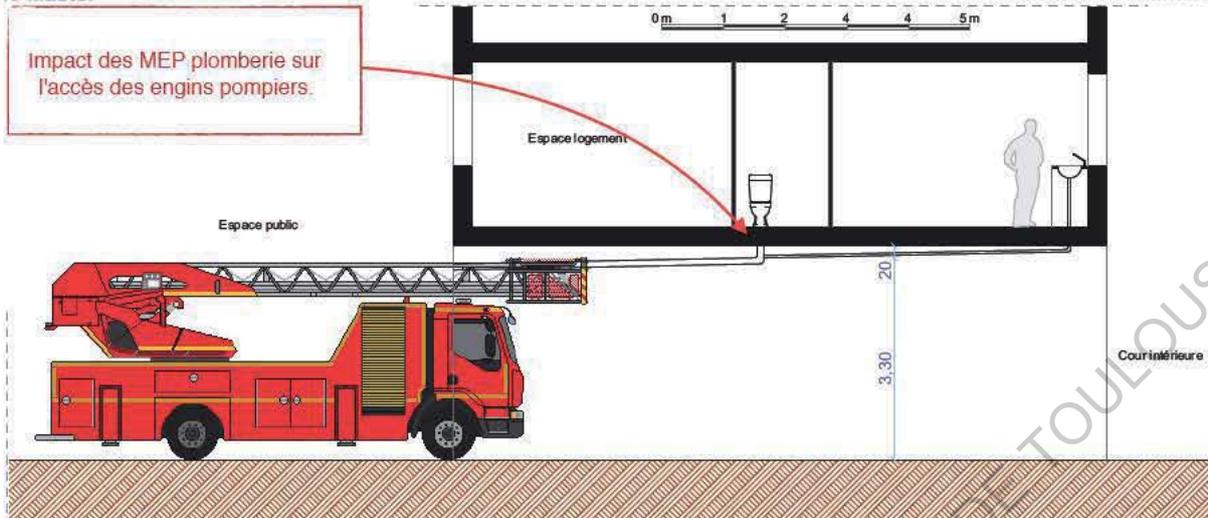


Figure 106: Exemple d'une situation de rénovation ou réhabilitation

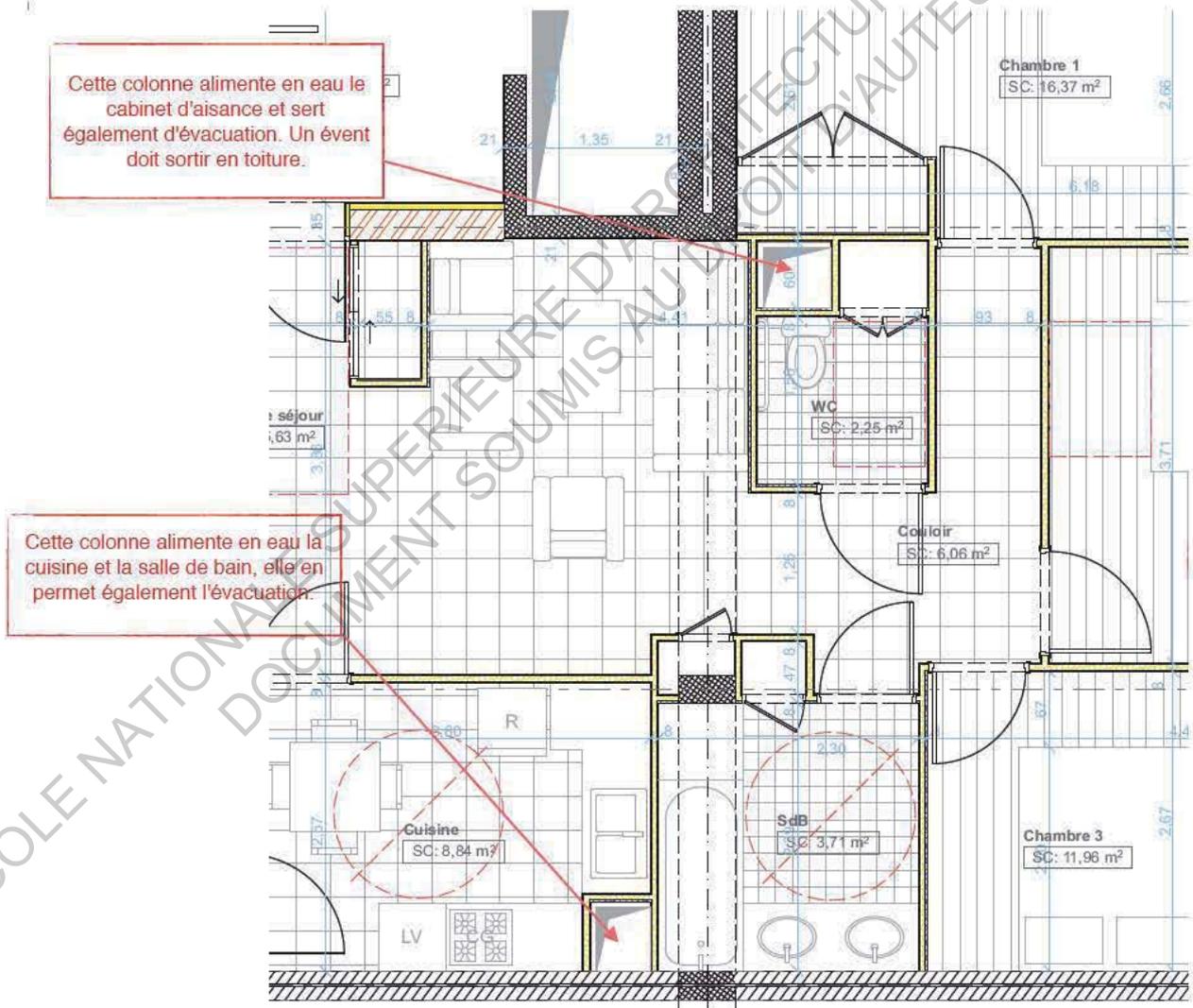


Figure 107: Plan d'une cellule d'habitation avec présence de colonnes montantes et descendantes.

D. BIM, Niveaux de Développements et Logiciels.

Après avoir pointé les différents problèmes possibles dans le domaine des MEP, il est temps de proposer une solution. Avant même mon entrée à l'école nationale supérieure d'architecture de Toulouse, je pensais que le 3d était la solution aux problèmes que je rencontrais sur chantier. Durant mes années de pratique professionnelles, je n'ai jamais connu un chantier où des éléments de ventilation venaient pas en conflit avec les chemins de câbles électriques ou même des évacuations de plomberie. Malgré les plans altimétrique fournis, sur chantier, c'est le premier arrivé qui est le mieux servi.

Quand j'écris cela, je veux simplement soulever une réalité qui nous est tous propre. Sur terre, seuls quelques grands hommes sont capables de voir les éléments dans leur totale représentation. Je pense à *Leonardo di ser Piero da Vinci* dit *Léonard de Vinci* ou même *Antoni Gaudí i Cornet* dit *Antoni Gaudí*, en ne citant que les plus célèbres. Ces hommes avaient une vision dans l'espace hors normes et un niveau de détails sans précédent.

Ma rencontre avec la maquette numérique (MN) a été pour moi la découverte d'un outil magique qui m'a servi à transposer mes pensées sur papier et d'en assurer une certaine réalité. J'ai souvent remarqué, en discutant avec d'autres étudiants que leurs plans, coupes, façades n'étaient pas (dans 60 % des cas), en rapport les uns aux autres, et je suis le premier à le faire aussi.

La découverte de l'outil 3d est une belle manière de voir et de comprendre ce que nous mettons en œuvre. Elle a pour équivalent la maquette classique, en plus élaborée et plus poussée. Les logiciels ont bien évolué depuis leur création. Il est maintenant possible de créer des réseaux électriques, pluvial, de ventilation, de chauffage et j'en passe. C'est le temps des MEP.

Pour revenir à mon expérience de terrain, les problèmes d'altimétrie étaient fréquents lorsque je recevais les plans en phase exécution (EXE). Malgré les multiples réunions de phasages, que je percevais comme miraculeuses lors de mon apprentissage, étaient en fait de simples réunions de négociation. La survie d'une entreprise est souvent liée au chiffrage des travaux supplémentaires. En fait que le chantier soit grand ou petit les problèmes se sont toujours réglés sur le tard. La société évolue, les pensées aussi et il est peut-être temps que le monde du bâtiment en fasse de même. C'est à travers cet outil de BIM que je crois possible cette évolution.

1. BIM

Beaucoup de choses ont déjà été dites et écrites sur le BIM. Il propose une nouvelle démarche de développement, de réalisation et de suivi des projets de construction. Il fait grand bruit de nos jours, car il bouscule. En fait, la maquette numérique existe depuis des années et de nombreux architectes en sont très friands, tout comme les maîtres d'ouvrage.

Dans un premier temps, il est important de comprendre qu'il existe une différence entre MN et BIM. La partie commune entre ces deux éléments est le paramétrique. Plus précisément un paramétrique évolué, je dirais. En fait, le paramétrique existe depuis la création des logiciels du dessin en 2d. Prenons l'exemple d'une fenêtre que nous représentons sur un plan, une coupe et en élévation. C'est éléments graphiques nous apportent la base. En plan, nous avons les dimensions du dormant et de l'ouvrant, si la fenêtre dispose d'un appui ou même de la distance de l'ébrasure. En coupe, d'autres données sont présentes comme la présence d'un volet roulant, de la hauteur de l'allège, de la fenêtre en elle-même....

C'est à cela que la MN apporte une amélioration. Dans un premier temps, la MN reprend exactement les données inscrites par le dessin en 2d. Le plus de cet outil est d'apporter d'autres critères d'informations : matière, élément structurant, résistance au feu, état de démolition/construction,... . À ces données viennent s'intégrer d'autres propriétés physiques comme la conductivité thermique, la densité, la capacité calorifique, l'énergie grise, l'émission de carbone grise,.... Bien entendu, le dessin 2d transmettait également ses données mais par le biais d'un descriptif écrit.

En tant que futur architecte, je ne suis pas qualifié pour remplir le travail d'un thermicien, d'un ingénieur ou même menuisier pour réaliser avec précision leurs tâches respectives. C'est ici qu'intervient le BIM. L'objectif le plus important de cet outil est de permettre un échange entre les différents corps d'état via une plateforme. *"Le phénomène est d'ailleurs appelé à s'accélérer encore, puisqu'il semble que les pouvoirs publics aient compris l'intérêt à se saisir du sujet (rapports "Objectifs 500 000 logements, directive "Marchés publics"...)."72*

⁷² Extrait de: Le moniteur, "BIM/maquette numérique contenu et niveau de développement", disponible sur: <http://www.aricad.fr/ressources/10327/66/moniteur_21_mars_2014_article_bim.pdf>

2. Les niveaux de développements

Bien sûr la réalisation d'un projet se fait en différentes phases. Il reste donc important de bien distinguer celles-ci et de leur apporter une importance propre suivant une échelle donnée. C'est aussi parce que le BIM est mis à disposition d'un nombre toujours plus croissant d'utilisateurs que naissent les niveaux de détails (Levels Of Details (LOD)) et le niveau de développement (Levels Of Development (LODt)).

Il existe dans le BIM plusieurs niveaux de LOD. Appelés niveaux de maturité, ces niveaux sont en fait des étapes vers le BIM collaboratif. Le niveau 0 est souvent référencé comme de la CAO 2d, non gérée ou non structurée. C'est le niveau où une grande partie de notre industrie se trouve actuellement. En effet les normes de présentation ISO n'ont jamais vraiment réussi à s'imposer comme elles l'ont fait dans les autres industries. Il y a bien des normes de dessin qui sont appliquées, mais il semblerait que chacun utilise les siennes. La collaboration est donc difficile, d'autant plus si on considère que beaucoup de projets ne sont pas géo-référencés, n'ont pas les mêmes unités ou qu'une rotation a été appliquée. Et je ne parle pas des noms et couleurs de calques différents, des fichiers d'impression et polices de texte exotiques...".

Le BIM de niveau 1 est "souvent référencé comme le BIM en isolation (lonely BIM). Un mélange de 2d et de maquette numérique 3d. Mais attention ! Le BIM en isolation ne veut pas dire produire des données de manière désordonnée comme pour la CAO 2d. Les données doivent être structurées, c'est-à-dire répondre à une norme (en Angleterre BS 1192:2007). Cette norme doit régir entre autres la numérotation des plans, la géolocalisation, la présentation, le système d'approbation et de diffusion des plans, etc.

Il est regrettable de voir que nombre de personnes très en vue sur Internet recommandent de se lancer dans l'achat d'un logiciel BIM et de produire des maquettes numériques sans trop se soucier de la manière. Si votre maquette ou les informations qu'elle contient ne sont pas structurées, ce n'est pas du BIM, même niveau 1. Pas de structure, pas d'échange possible, pas de BIM. Désolé.

Il n'y a pas de collaboration à proprement parler à ce niveau-là car chacun publie et met à jour ses données individuellement. Le partage électronique et la diffusion des plans habituellement 2d (PDF ou fichiers natifs) entre les différents acteurs se font via un Environnement de Données Commun, comme Autodesk A360, Graphisoft BIMx ou Trimble Connect."⁷³

Avec le BIM de niveau 2 "... la collaboration commence ! Chacun produit une maquette numérique 3d dans son coin (architecte, ingénieurs, MEP, etc.). Alors où est la collaboration ? Et bien, c'est dans la façon d'échanger ces modèles. En effet, et c'est crucial à ce niveau, les différents modèles sont progressés de concert et sont échangés en utilisant un format de fichier natif, IFC ou Cobie. Cet échange va permettre de combiner

⁷³ Extrait de: Objectif BIM, "Les différents niveaux du BIM", disponible sur: <<http://www.objectif-bim.com/index.php/bim-maquette-numerique/le-bim-en-bref/les-niveaux-du-bim>>

tous les modèles en un seul modèle unique ou fédéré. C'est avec ce modèle unique que seront effectuées les détections de conflits par exemple. Le BIM Niveau 2 sera obligatoire pour les projets gouvernementaux en Angleterre en 2016. Partage et diffusion des modèles et plans via Environnement de Données Commun comme pour le niveau 1. À noter que les IFC, même s'ils peuvent être utilisés au niveau 2, ne sont requis qu'à partir du niveau 3. Le BIM niveau 2 + IFC est communément appelé niveau 2. Le niveau 2 permet l'utilisation du BIM 4d et 5d."⁷²

Pour finir le BIM de niveau 3 "ou IBIM. Considéré par beaucoup comme le seul BIM, car il permet de profiter de tous les avantages offerts par le BIM. Un modèle unique est stocké sur un serveur centralisé, accessible par tous les intervenants et durant toute la durée de vie d'un ouvrage via IFC/IFD/IDM. Cette collaboration totale n'est pas sans poser de nombreux problèmes de propriété intellectuelle, de responsabilité et de réglementation de l'accès/modification/enregistrement de la maquette numérique unique. Si pour les autres niveaux les contrats actuels avec un addendum BIM semble suffisant, le Niveau 3 devra recourir à des contrats spécifiques qui régissent ce nouveau type de partenariats entre tous les acteurs. Accords multi-parties, partage des risques et bénéfices, assurances spécifiques sont également à considérer au niveau 3."⁷²

"Le BIM Niveau 3 est actuellement testé sur de grands projets par une minorité de firmes. Ce BIM niveau 3 n'est pas a proprement parlé disponible. La technologie actuelle ne permet pas encore l'accessibilité du Niveau 3 à tous. Les normes et les contrats ne sont pas disponibles et c'est pour cela que les gouvernements se sont arrêtés au Niveau 2 dans leurs exigences."⁷² Le diagramme ci-dessus résume très bien les LOD du BIM et localise notre position actuelle par cette limite du trait rouge.

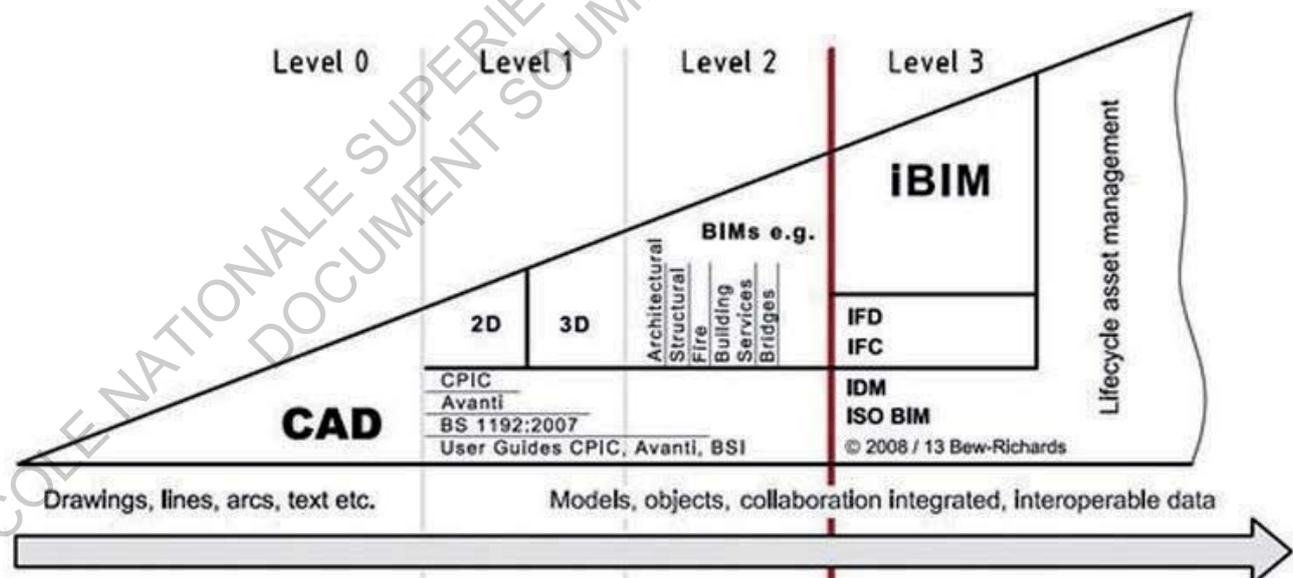


Figure 108: Diagramme de BEW et Richards qui représente les niveaux du BIM au Royaume-Uni

⁷² Extrait de: Le moniteur, "BIM/maquette numérique contenu et niveau de développement", disponible sur: <http://www.aricad.fr/ressources/10327/66/moniteur_21_mars_2014_article_bim.pdf>

Un autre LOD est également présent, mais celui-ci est relatif à l'avancement du projet et du niveau de détails des éléments. Il fonctionne comme le LOD du BIM et propose un niveau de renseignement des éléments constituant la maquette numérique (MN) selon l'avancement du projet. Pour cela plusieurs niveaux sont créés.

Le LOD 100 se caractérise par des volumes 3d génériques et simples permettant une représentation globale du projet dans son environnement. C'est avant tout la première réflexion de l'architecte : l'esquisse. Elle permet de greffer les bureaux d'études des différents corps d'état. L'esquisse de la maquette numérique permet de réaliser une étude des ombres portées (Figure 109), une étude d'ensoleillement des façades du bâtiment (Figure 110), une étude des vents (Figure 111) ou une pré-étude énergétique (Figure 112).



Figure 109: Etudes des ombres portées.



Figure 111: Etudes instantanée de la circulation des vents.



Figure 110: Étude d'ensoleillement des façades du projet sur une journée.

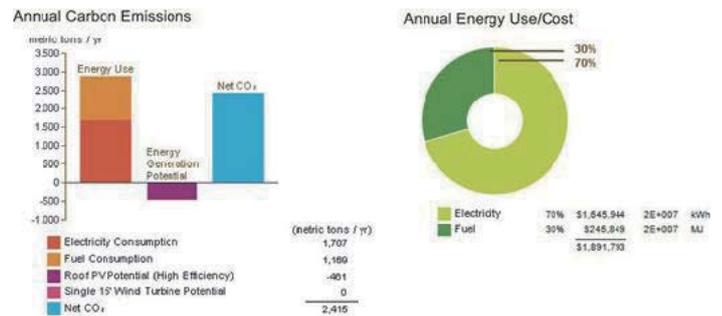


Figure 112: Pré-études énergétique

Le LOD 200 correspond au niveau APS. Il "permet l'enrichissement de la maquette numérique sur la base du projet de l'architecte et des éléments techniques fournis par les spécialistes. Les études structurelles et techniques prennent forme et sont renseignées, permettant ainsi l'extraction des informations caractérisant les objets. L'estimation financière du projet est basée sur des ratios, dont certains peuvent être étayés par des quantités extraites de la maquette numérique. La structure du bâtiment est dimensionnée et calculée (Figure 113 et Figure 114) permettant de valider le projet de l'architecte. Les principaux locaux techniques sont modélisés permettant de valider les surfaces du programme. Une première projection de l'emprise des principaux équipements et réseaux est alors disponible au sein de la maquette (Fig. 14)".⁷⁴



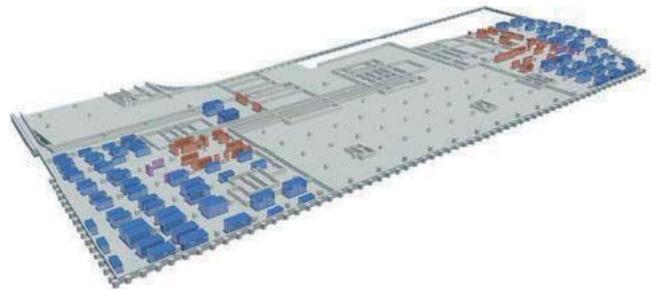
Figure 113: Modélisation structurelle béton.



Figure 114: Modélisation structurelle acier.



Figure 115: implantation des MEP et locaux techniques.



⁷⁴ Extrait de: Le moniteur, "BIM/maquette numérique contenu et niveau de développement", disponible sur: <http://www.aricad.fr/ressources/10327/66/moniteur_21_mars_2014_article_bim.pdf>

Le LOD 300 ou encore avant-projet détaillé (APD). "Ce niveau de développement (ND) présente de manière exhaustive les composants de la maquette numérique (MN) : ils sont repérés et renseignés et permettent une description détaillée du (des) projet(s). Il permet l'établissement de quantitatifs nécessaires à l'estimation financière,...".⁷³

Ce ND complète le modèle numérique des réseaux techniques et des détails architecturaux. Les calculs structurels sont affinés, la maquette numérique permet la consultation des entreprises (DCE)...⁷³ A ce stade les différents intervenants doivent être réactifs et faire preuve d'un professionnalisme sans faille afin que les objets 3d, la présynthèse des réseaux techniques et la présynthèse architecturale soient renseignés. Il faut également que la collaboration soit parfaite lors du projet.

La présynthèse des réseaux techniques (Figure 116 et Figure 117) réalisée en amont du projet permet un gain de productivité en phase chantier et sur la phase d'études d'exécution. Les collisions entre réseaux sont identifiées et analysées directement dans l'interface de modélisation (Figure 118).⁷³

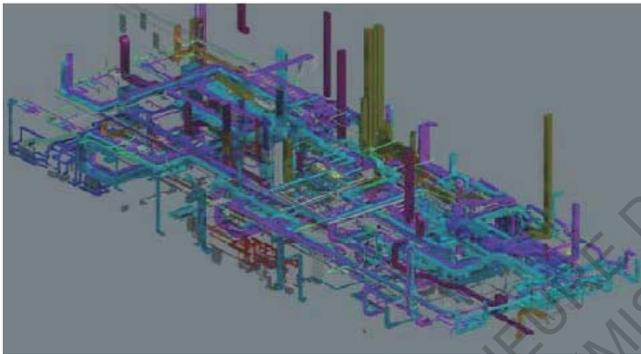


Figure 116: Pré-synthèse des réseaux.



Figure 117: Pré-synthèse des réseaux dans les circulations techniques.

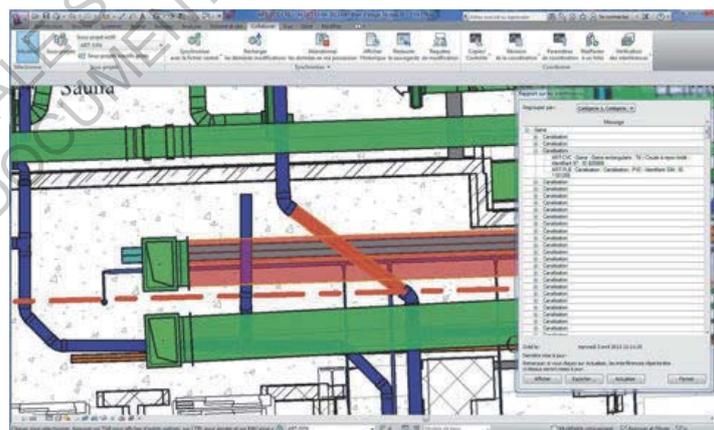


Figure 118: Identification des collisions entre réseaux.

⁷³ Extrait de: Le moniteur, "BIM/maquette numérique contenu et niveau de développement", disponible sur: <http://www.aricad.fr/ressources/10327/66/moniteur_21_mars_2014_article_bim.pdf>

Le LOD 400 correspond à la phase exécution (EXE) des travaux par l'entreprise. "La maquette numérique (MN) de ND4 intègre progressivement les caractéristiques des éléments retenus dans les marchés d'entreprises et mis au point durant les études d'exécution (Figure 119 et Figure 120)."⁷³

"Le titulaire des études d'exécution développe la maquette ND3 et produit ses documents d'exécution, d'usine, de fabrication, d'atelier. Il établit ses commandes, sa méthodologie d'exécution et intègre les informations dans la MN qui devient ND4. Cette maquette permet d'apprécier les impacts éventuels des modifications potentielles pendant la phase d'exécution".⁷³

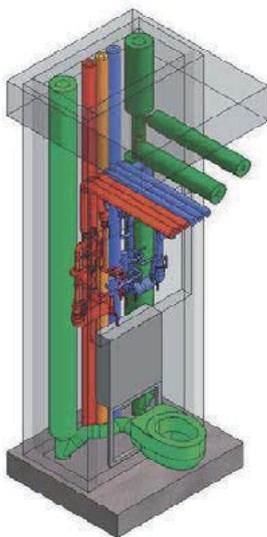


Figure 119: Modélisation de la panoplie sanitaire et des réseaux de la gaine technique.



Figure 120: Rendu réaliste d'un local technique électrique.

⁷³ Extrait de: Le moniteur, "BIM/maquette numérique contenu et niveau de développement", disponible sur: <http://www.aricad.fr/ressources/10327/66/moniteur_21_mars_2014_article_bim.pdf>

Le LOD 500 fait parti de la phase DOE (dossiers des ouvrages exécutés). "La maquette numérique en ND5, double virtuel de la construction, contient toutes les informations des DOE.

De cette maquette peuvent être extraits des plans détaillés de l'ouvrage ainsi que tous les documents permettant l'exploitation et la maintenance des équipements installés....

Ce niveau ND5 permet le développement ultérieur de maquettes ND6 (Cf. 8). Il permet donc l'extraction de maquettes, supports de l'exploitation, de la gestion de maintenance assistée par ordinateur (GMAO) et des interventions ultérieures".⁷³

Pour finir le LOD 600 a pour objectif "... de déployer l'information nécessaire aux utilisateurs en vue de l'exploitation de l'ouvrage construit. Les utilisateurs sont les gestionnaires du patrimoine mais aussi les intervenants (maintenance, audit...) et les occupants".⁷³

À ce stade le maître d'ouvrage doit posséder la maquette numérique de son projet. Il doit être capable de pouvoir identifier les murs porteurs de son bâtiment ou même de pouvoir faire apparaître le réseau électrique ou de ventilation s'il souhaite apporter des modifications ultérieures à son projet. Pour cela, une visionneuse de fichier 3d peut faire l'objet d'une formation afin de pouvoir tirer profit du potentiel transmis par cette maquette numérique.

⁷³ Extrait de: Le moniteur, "BIM/maquette numérique contenu et niveau de développement", disponible sur: <http://www.aricad.fr/ressources/10327/66/moniteur_21_mars_2014_article_bim.pdf>

<p>ND 1</p>	<p>CONCEPTS ESQUISSE</p>		<p>Analyses et impact</p>
<p>ND 2</p>	<p>AVANT-PROJET SOMMAIRE PERMIS DE CONSTRUIRE</p>	<p>LOD 200 / ND 2 Réseaux primaires & Systèmes</p>	<p>Zones techniques Réseaux primaires et équipements</p>
<p>ND 3</p>	<p>AVANT-PROJET DÉTAILLÉ PRÉ-SYNTHESE PRO/DCE</p>		<p>Coordination des interdisciplines</p>
<p>ND 4</p>	<p>SYNTHESE ÉTUDE D'EXÉCUTION CONSTRUCTION</p>		<p>Modélisations des ouvrages à exécuter</p>
<p>ND 5</p>	<p>DOSSIER DES OUVRAGES EXÉCUTÉS</p>	<p>Modèle virtuel = Ouvrage exécuté</p>	<p>Modèle virtuel = Ouvrage exécuté</p>
<p>ND 6</p>	<p>EXPLOITATION</p>		<p>Gestion technique patrimoniale</p>

Figure 121: Tableau de synthèse des différents niveaux de développement d'une maquette numérique.

3. Logiciels

Pour certains, la vocation de créer une MN était une évidence, alors que pour d'autres le passage un passage a été plus tardif. Maintenant l'Etat franchit une étape supplémentaire en créant le Plan de Transition Numérique du Bâtiment. Obligation ou phénomène de mode ? Le 3d fait parti de notre environnement. Aujourd'hui un grand nombre de logiciels sont en mesure de faire de la MN et même du BIM.

Sur le marché, nous pouvons trouver différents logiciels de modélisation 3d, mais le premier logiciel 3d est apparu vers la fin des années 1980 avec ArchiCAD. Faire de la volumétrie ne suffit pas, il faut aussi pouvoir encoder des données au format IFC.

À cela Revit ou AutoCAD Architecture d'Autodesk y répondent très bien. Il y a également Allplan de Nemetschek et ArchiCAD de Graphisoft qui fait depuis peu parti du groupe Allemand Nemetschek. Sketchup Pro et Tekla (BIM Award 2016) de Trimble sont aussi de bons produits. Pour les moins connus, AECOSim Building Designer et AECOSim Energy Simulator de Bentley et Vectorworks Architecture par Ceysam.

Pour ma part, je suis un convaincu de l'utilité de l'outil 3D et encore plus depuis que je me sert quotidiennement de l'un d'entre eux. Dans cette multitude de choix, voilà maintenant un peu plus de quatre années que j'utilise ArchiCAD. Sans pour autant dire que je le maîtrise, c'est avec celui-ci que je me sens le plus à l'aise.

Lorsque j'ai dû effectuer un choix de parcours pour le séminaire, il me paraissait évident de m'orienter vers le séminaire "Architectures Numériques et Paramétriques". Durant ce parcours, j'ai pu découvrir un univers en total bouleversement avec cette nouvelle approche qu'est le BIM et toutes ces questions qui tournent autour et en particulier la question du MEP.

C'est pour cela que j'ai souhaité réaliser mon stage formation pratique obligatoire au sein d'une agence qui pratique le BIM. Avec une petite aide, j'ai réussi à trouver un milieu qui répondait à mes attentes. Le bémol, c'est que l'agence utilise le logiciel Revit. Et pour ma part je ne le connais pas du tout. J'ai vu cette situation comme un défi. Pouvoir apprendre un nouveau logiciel auprès de professionnels est la meilleure pratique qu'il soit.

Cependant, c'est dans la pratique que j'ai pris conscience de la difficulté de maîtriser un nouveau logiciel. D'autant plus que l'espace-temps d'apprentissage, de deux jours semaine sur six mois, était un vrai défi. Malgré cela j'ai pu énormément apprendre.

Cette convention avait donc pour but de donner une plus value à l'agence afin de mettre en place une branche MEP mais également de me faire découvrir l'environnement d'une agence d'architecture. L'objectif était de réaliser tous les réseaux MEP d'un logement, ceci afin de vérifier qu'aucun conflit entre les réseaux n'était présent, mais également de rentrer dans une vraie démarche BIM même si je considère le BIM autrement que de fonctionner dans un vase clos et sur une même plateforme de logiciel.

Au final, la pratique de ce stage m'a permis de découvrir une autre branche que proposent les logiciels les plus avancés. Largement diffusé dans le monde de la 3d, le MEP Modeler devient une plus value lors de la présentation de projets. Avec cette expérience je me suis rendu compte que la maîtrise d'un logiciel est extrêmement importante et que tous les logiciels sur le marché répondent à des demandes biens spécifiques. Quand je parle de maîtrise cela passe par l'interface mais également par l'interopérabilité.

L'agence Coste architecture en est un bon exemple. Elle réalise le centre aquatique de Saint-Nazaire, 5 435 m2 (dont 1 267 m2 de plan d'eau) pour 17,5 millions d'euros H.T. Le projet est retenu pour son innovation en termes de structure et d'autre part pour sa méthode de travail en BIM. L'agence est récompensée par le jury du BIM d'OR en 2014.

"Sam Cordier, BIM Manager chez Coste Architectures dit que : "le BIM c'est une modélisation 3d où chaque entité du bâtiment est décrite dans un langage commun compréhensible par tous – le format IFC."⁷⁵

L'agence Coste travaille sur le logiciel ArchiCAD. *Pour l'exemple précis du Centre Aquatique de Saint-Nazaire, l'agence Coste et son BIM Manager ont choisi de traiter en IFC sur ARCHICAD trois « lots » : le gros œuvre, la charpente et le réseau MEP. Suivant les partenaires, les échanges avec la maquette numérique créée dans ARCHICAD se sont fait aussi bien avec Revit MEP, qu'avec Tekla Structures, AllPlan, ou encore Solibri... ".⁷⁴*

"La partie charpente a été la partie la plus facile à traiter. En tant qu'architecte maître d'œuvre, nous n'avons fourni que la nappe – la forme du toit – en IFC. Le BET Serba a travaillé cet élément de maquette numérique sur Tekla Structure – logiciel également certifié OPEN BIM – et nous a retourné automatiquement tous les éléments de la charpente".⁷⁴

"Pour la partie MEP, j'ai amorcé la pompe si je puis dire pour rassurer le BET car il n'avait pas l'habitude de cette méthode de travail. J'ai donc initié la partie MEP dans la maquette numérique d'ARCHICAD avec le module MEP Modeler. Ce module ne permet pas de faire des calculs – et je ne suis pas ingénieur : c'est bel et bien le travail du bureau d'études. Mais MEP modeler permet de modéliser les éléments du réseau, de les identifier comme tel en IFC et donc d'être reconnu par les logiciels BET comme étant des éléments MEP. J'ai donc posé des éléments sommaires dans la maquette numérique ARCHICAD que Tual, le BET réseau, a récupéré sur MEP Revit. Tual a fait son travail de bureau d'études sur son logiciel, un travail que nous avons pu réinjecter sans problème dans la maquette numérique sur ARCHICAD".⁷⁴

Ce qu'il est important de retenir dans cet exemple proposé via l'agence Coste, c'est, hormis la phase réussite de l'opération, l'aspect communicatif entre les corps de

⁷⁵ Extrait de Open BIM, "Coste Architectures, la maîtrise du BIM en phase études", disponible sur: <<https://openbim.fr/temoignages/le-bim-en-phase-etudes/#toggle-id-2>>

métiers. L'échange par l'IFC fonctionne ! Peu importe que nous soyons architecte, ingénieurs (structure, réseaux,...), ouvriers, chacun utilise des outils qui lui est propre.

En tant que futur architecte mon but est de concevoir un projet. Ce projet fait appel à d'autres besoins que je ne maîtrise pas. Par contre je suis capable de représenter un prédimensionnement des MEP ou de la structure par exemple et chaque BET viendra apporter son savoir spécifique.

Pour cela, chacun dispose de logiciels spécifiques comme Fisa-MEP ou Stabiplan qui permettent de réaliser des modélisations aérauliques, hydrauliques et électriques avec du dimensionnement par le calcul. CypeCAD MEP est capable en plus de gérer de la thermique, de l'acoustique et de l'incendie dans un seul modèle BIM, toujours sur un principe de calcul. FinalCAD permet de "*simplifier la vie des hommes de chantier, numériser et normaliser tous les processus sur le terrain afin de pouvoir exploiter les bonnes pratiques, faire vivre la maquette numérique sur le chantier (tel-que-construit), faciliter la collaboration entre les différents intervenants*".⁷⁶



Figure 122: Représentation MEP par ArchiCAD.

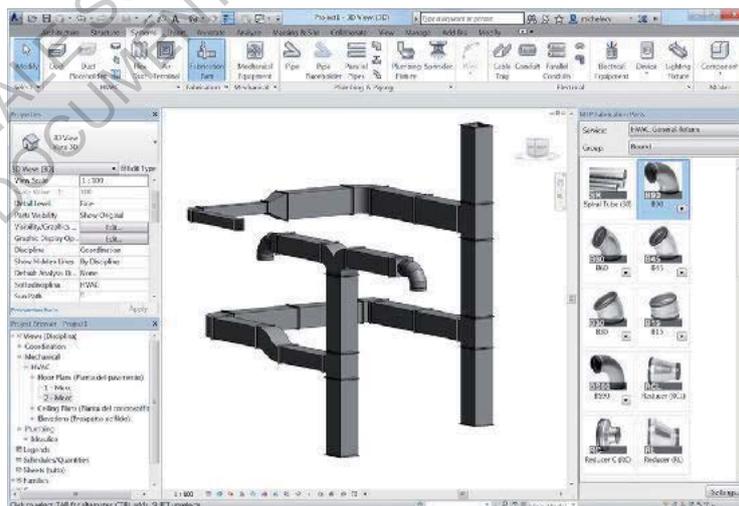


Figure 123: Représentation MEP par Revit.

⁷⁶ Extrait de FinalCAD, "Notre histoire", disponible sur: <<https://www.finalcad.com/fr/a-propos/qui-nous-sommes>>

E. L'essentiel

Tout comme le corps humain, un bâtiment possède des "organes internes". Cette comparaison met en relation le système digestif, les poumons et le système nerveux aux éléments présents dans un bâtiment telle que la plomberie, le CVC et l'électricité.

Nous avons, actuellement, un confort de vie qui nous impose un certain standard de construction. L'évolution constante de nos besoins demande aux domaines du MEP un encadrement qui est réalisé par le biais des normes. Celles-ci servent de références et permettent d'offrir une garantie sur la conformité de la réalisation des travaux permettant une protection des personnes, des animaux domestiques et des biens. Toutes ces normes sont mises en œuvre par le biais de différents organismes comme l'AFNOR, le CSTB, UTE,... qui établissent des documents techniques unifiés (DTU) propres à chaque domaine intervenant dans la construction d'un logement.

L'objectif premier de ce mémoire est de mettre en avant l'impact que peuvent avoir les MEP sur l'architecture elle-même. Chaque domaine du MEP est contraint par des normes qui sont établies sur des contraintes physiques que peuvent avoir certains éléments. Outre cette influence existant entre réseaux MEP et architecture, la question du niveau de connaissance que doit avoir un architecte face à tous ces domaines demeure pertinente. Le nombre présent, et grandissant, des normes devient très complexe pour les non initiés. Les architectes doivent-ils connaître toutes les normes ? Toutes les connaître serait bien prétentieux ! Il est par contre indéniable qu'il est nécessaire d'avoir un minimum de connaissance et de vocabulaire dans chaque domaine afin de pouvoir dialoguer avec les différents bureaux d'études correspondants.

La solution peut-elle venir du BIM (Building Information Modeling) ? Problème réel et d'actualité, le monde de l'architecture utilise depuis de nombreuses années la modélisation numérique. Outre le travail dans la 3D, les logiciels, aussi nombreux qu'ils soient, sont actuellement capables de créer des réseaux MEP dès les premières phases d'un projet. L'échange de données et/ou l'intégration des différents bureaux d'études dans l'évolution d'un projet permettent de soulever et d'anticiper les multiples problèmes liés aux conflits (collisions, manquement, diamètre non conforme,...) et obligation des normes.

V. Les perspectives

A. Vers un bâtiment 2.0

Vers un bâtiment 2.0 ! Peut-être pas si loin que cela. Par le passé, les logiciels ont déjà transformé la manière de travailler des architectes avec la transition du stylo à la souris. Aujourd'hui le BIM propose une autre approche du dessin et du travail collaboratif. De plus, les outils informatiques étant de plus en plus performants, la possibilité de modéliser des formes complexes (souples, courbes et "molles"), dont Zaha Hadid⁷⁷ fut la figure de proue, paraît à la portée de tous. Mais qu'en sera-t-il de l'avenir ?

"En offrant la possibilité de visiter une maison avant même qu'elle ne soit construite, le BIM pénètre dans le champ de la réalité virtuelle. Car pour pouvoir enfile ses lunettes et se promener dans un intérieur virtuel, la création d'une maquette numérique est nécessaire au préalable".⁷⁸

Aujourd'hui Google Street View nous propose des voyages immobiliers. Un grand nombre d'étudiants en architecture dessinent des façades sans avoir le besoin de se déplacer. L'outil Street View peut également permettre le repérage ou l'observation d'un logement dans son environnement. Mais Google va plus loin. *"Depuis 2009, le géant de l'internet met au point un service permettant de pénétrer à l'intérieur des grands sites naturels et architecturaux classés par l'UNESCO...."*⁷⁹

Alors pourquoi pas utiliser cet outil de la réalité augmentée au service de la construction ? Le but de la réalité augmentée est de superposer *"un modèle virtuel 2d ou 3d sur notre vision, et ceci en temps réel. Elle permet par exemple de voir une maquette numérique d'un projet qui viendra se superposer aux images du monde réel vues au travers de lunettes ou la caméra d'un smartphone"*.⁸⁰

Imaginons alors que le futur nous permette de concevoir des projets à l'aide de masques virtuels (figure 124) ou de représentations holographiques (figure 125). Le rapport que nous aurions avec l'objet en serait de nouveau bouleversé. La conception de plans en 2d serait peut-être reléguée au second plan et le travail unique en 3d permettrait de libérer l'esprit pour ne focaliser que sur la pensée architecturale. Ce genre d'outil apporterait également une autre relation avec les éléments qui composent le domaine du MEP. Cela offrirait la possibilité de se rendre compte in situ des conflits entre différents éléments.

⁷⁷ Zaha Hadid est une architecte urbaniste irako-britannique, figure du mouvement déconstructiviste.

⁷⁸ Extrait de: Demain la ville, "L'affaire BIM : pour ou contre ?", disponible sur: <www.demainlaville.com/laffaire-bim/>

⁷⁹ Extrait de: Demain la ville, "De la réalité augmentée à l'expérience virtuelle urbaine", disponible sur: <<http://www.demainlaville.com/de-la-realite-augmentee-a-l'experience-virtuelle-urbaine/>>

⁸⁰ Extrait de: Objectif BIM, "Réalité augmentée", disponible sur: <<http://www.objectif-bim.com/index.php/technologie-bim/realite-augmentee>>



Figure 124: Réalité virtuelle dans le bâtiment.

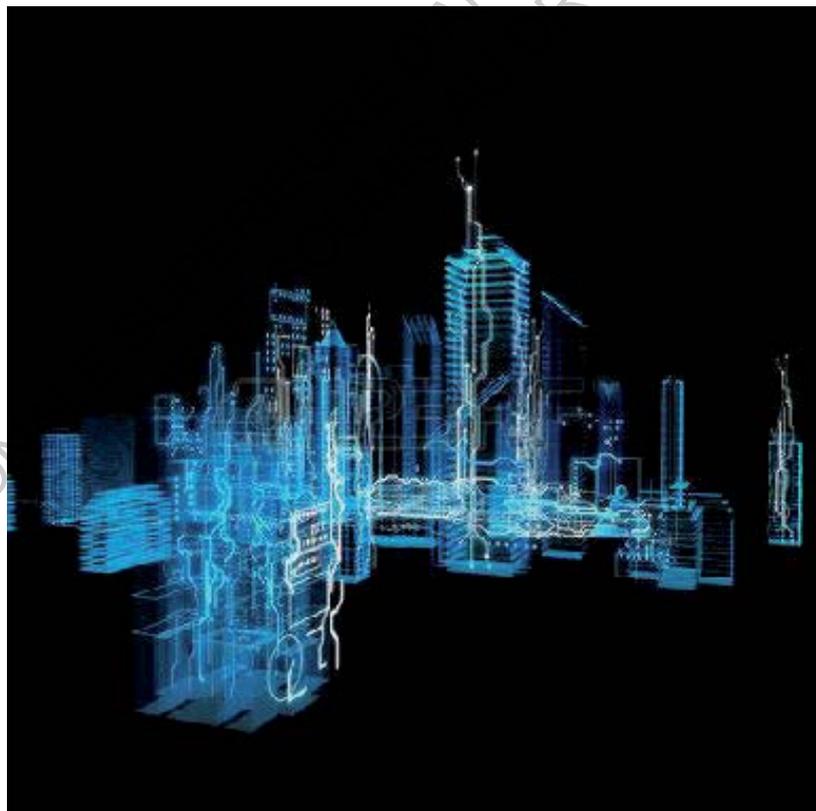


Figure 125: Construction par hologramme.

*"L'avenir de l'architecture pourrait alors résider dans l'immersion du client dans un projet artificiel, lui donnant la capacité de visualiser le projet et de formuler ses désirs. "Ce mur-ci, je préférerais qu'il recule de 3 mètres et cette cloison, percez-la de la sorte", dirait le client enfin capable, grâce à cet outil, de se projeter dans des projets que les plans et les coupes rendaient jusqu'alors difficilement lisibles. Un grand pas pour les maîtres d'œuvre donc, mais aussi pour les maîtres d'ouvrage !"*⁷⁷

Ce "séisme" d'innovations, dans le monde de la construction, ne s'arrête pas là. Le relevé in situ l'est lui aussi. Depuis quelque temps, de nouvelles méthodes sont utilisées pour effectuer le relevé d'un bâtiment : le scan 3d. Ce procédé *"permet dans un temps très rapide, de recueillir une quantité de données exhaustives avec une précision incomparable. Le traitement du relevé et l'établissement des documents graphiques sont ainsi élaborés avec l'intégralité des informations relatives au bâti"*.⁸¹

Cette méthode permet d'obtenir des nuages de points qui représentent la réalité. Par la suite tous ces points peuvent être assemblés afin de représenter le bâtiment en 3d et ainsi obtenir des plans, coupe et façades. Ce processus est très utile lors de la réalisation de projet dans la rénovation ou la réhabilitation. Il permet à l'architecte et au maître d'ouvrage d'anticiper les futurs problèmes et ainsi prendre les bonnes décisions en amont de la réalisation. Cela évite les conflits lors de la phase exécution.

J'ai eu l'occasion de voir cette pratique lors de mon stage. Le projet consiste en la réhabilitation d'une vieille grange pour en obtenir une maison secondaire pour un client privé. Le dessinateur projeteur montait le bâtiment en 3d à l'aide des nuages de points fournis par le relever du géomètre. Le plus étonnant est la représentation exacte des



Figure 126: Relevé d'un terrain par nuage de points (carrière).

⁸¹ Extrait de:GEA, Géomètres Experts, "Levé de bâtiment", disponible sur: < <http://www.ge-a.com/geometres-experts/copropriete/leve-de-batiment/>>

éléments voulus. Bien sûr, ceci fait l'objet d'une prestation particulière et peut avoir comme mission différents objectifs.

Ce que j'ai trouvé le plus intéressant dans cette approche c'est la détection de conflits. La méthode de travail de l'agence permet de faire un état des lieux précis du futur projet. À mesure du temps, mon aisance sur le logiciel Revit m'a permis de soulever une anomalie. L'architecte a pensé son espace intérieur en fonction des contraintes du projet et du client. Celui-ci souhaitait une douche dans chaque chambre avec des receveurs au sol. Lors de la mise en place des évacuations du receveur, je me suis rendu compte que la bonde était positionnée juste au-dessus d'une poutre porteuse entre le RDC et le R + 1.

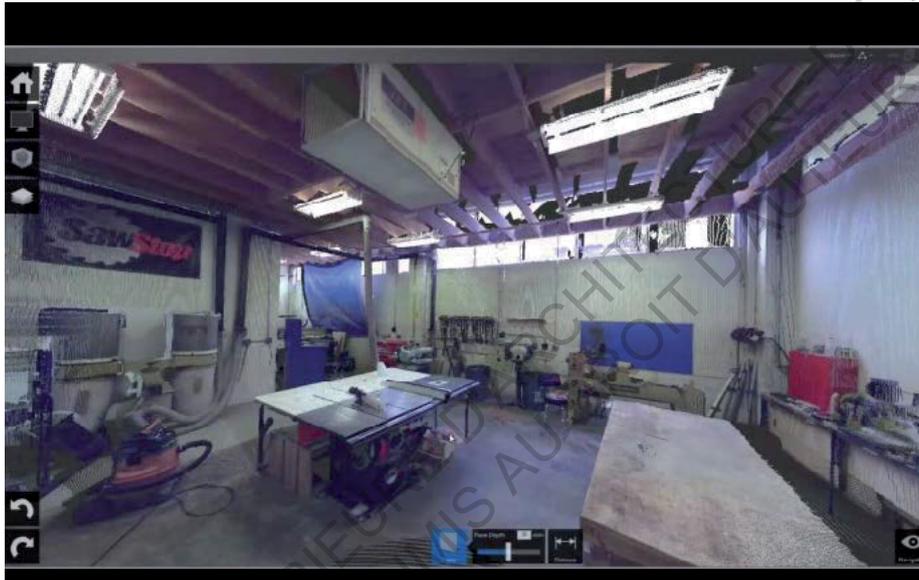


Figure 127: Relevé intérieur d'un bâtiment par nuage de points très haute qualité.

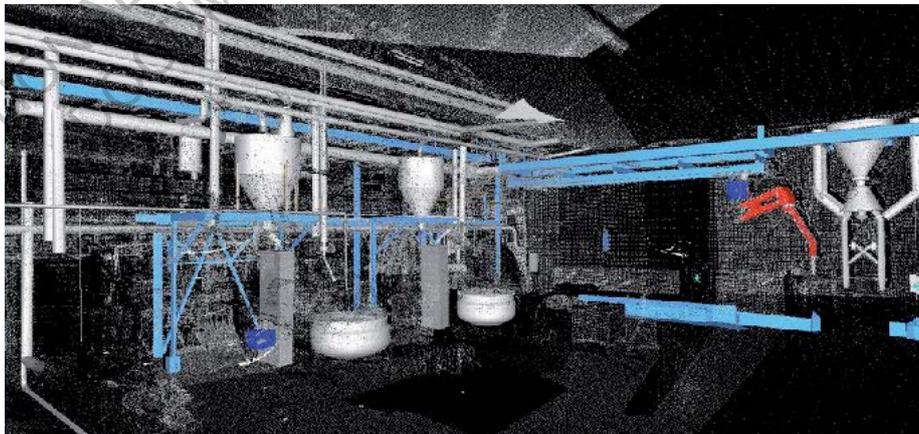


Figure 128: Relevé intérieur d'un bâtiment MEP par nuage de points moyenne qualité.

B. Une vision plus large (CIM)

Alors que le BIM offre une nouvelle ère dans la conception des bâtiments, pourquoi cet outil ne pourrait-il pas être utilisé pour la gestion d'un quartier ou d'une ville. Le City Information Modeling (CIM) peut alors être vu comme une extension de concept du BIM à une échelle plus large.

Il existe aujourd'hui des logiciels comme ArcMAP ou Qgis qui nous donnent des informations au niveau de la ville. Ils utilisent un grand nombre de données pour apporter une masse d'informations autour de la ville (Hauteur de bâtis, zone PPRI, implantation de la végétation,...). C'est actuellement la base de données que j'utilise en premier pour avoir le maximum d'informations sur un territoire bien précis afin de réaliser le futur projet.

En poussant la réflexion des réseaux MEP et du CIM, je me demande s'il ne serait pas intéressant de pouvoir jumeler ou intégrer des informations supplémentaires en relation avec les MEP. Ces données apporteraient une multitude de détails non négligeables lors de la réalisation de terrassements. Lors de ma pratique du métier d'électricien, les deux exemples les plus marquants dont je me souviens sont d'être intervenu en urgence suite à la rupture d'un câble haute tension qui alimentait un bâtiment entier et à la rupture d'une fibre optique, heureusement pas le même jour.

À cette période, je travaillais dans une société privée qui avait un contrat de maintenance avec le centre hospitalier de Purpan à Toulouse (CHU P). C'est avec la réalisation du futur hôpital Pierre Paul Riquet que les interventions ont augmenté. Avant de commencer la construction proprement dite, un énorme travail de terrassement est mis en route pour pouvoir accueillir le nouveau bâtiment mais également pour créer les liaisons souterraines avec les bâtiments alentour.

Malgré les informations transmises par les services des hôpitaux sur les câbles présents dans le sol, certains étaient inexistant à l'endroit indiqué ou présent dans les endroits non prévus. Le genre d'intervention que nous avons mené (à caractère d'urgence) coûte cher au final, perte d'informations pour la fibre, bâtiment privé d'électricité. En fait la fibre était reliée à la pharmacie centrale qui gère tous les services de Purpan avec notamment les soins intensifs,... !!!

Ma réflexion est la suivante : Ne serait-il pas possible de mettre en place un système de "CIM évolué", qui fonctionnerait comme la maquette centrale du BIM niveau 3 afin que les entreprises réalisant un projet urbain viennent apporter leurs informations relatives sur une zone précise du territoire français (figure 128). Une sorte d'épine dorsale pour un système CIM ou une base de données spatiale générale serait implémentée de données. Un modèle de données qui combine des classes d'objets dans un environnement urbain.

Le but est d'avoir des informations sur l'infrastructure des lieux. Cela éviterait d'avoir des problèmes lors de terrassements et d'adopter une philosophie différente de celle de nos jours et permettrait d'instaurer une technologie dans les pratiques liées à la

École nationale supérieure d'architecture de Toulouse _83 rue Aristide-Maillo1 _BP 10629 _31106 Toulouse cedex 1

Tél. : 33 (0)5 62 11 50 50 _Fax : 33 (0)5 62 11 50 99 _Courriel : ensa@toulouse.archi.fr _Site : www.toulouse.archi.fr



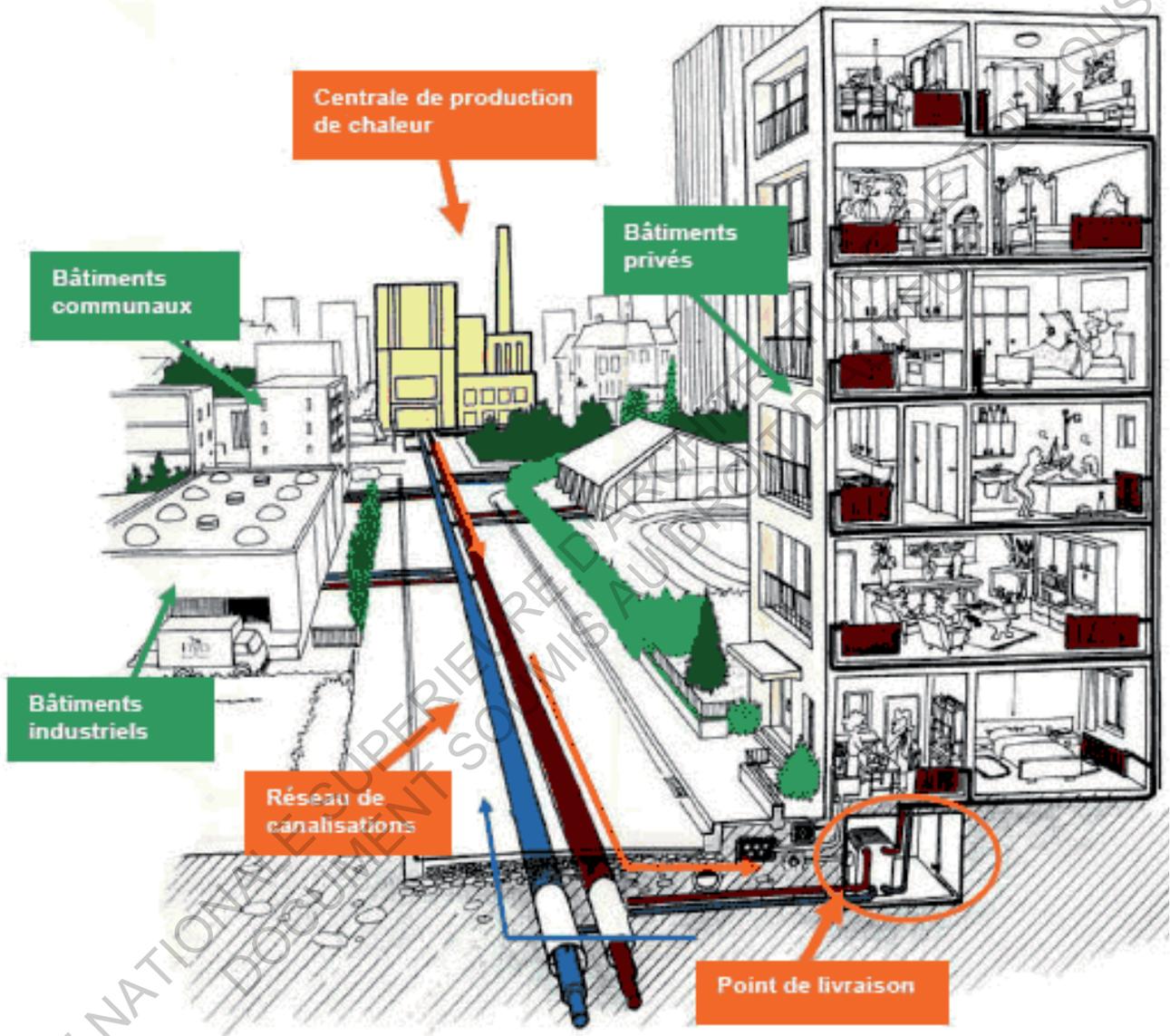


Figure 128: Réseaux chaleur urbaine.

planification, la gestion et le suivi de la ville. Une autre vision des responsabilités pourrait naître. L'historique lors de la saisie des données montrerait qui en est l'origine.

Qui n'a jamais rêvé de se retrouver autour d'une table et d'étudier un plan ou un environnement à la manière du film d'Avatar (figure 129). Des avancées brevetées dans le domaine des lasers, de l'optique et du traitement de l'image sont en cours de développement pour produire des images holographiques à partir de jeux de données 3d. Peut-être que ce futur n'est pas si loin que cela ?

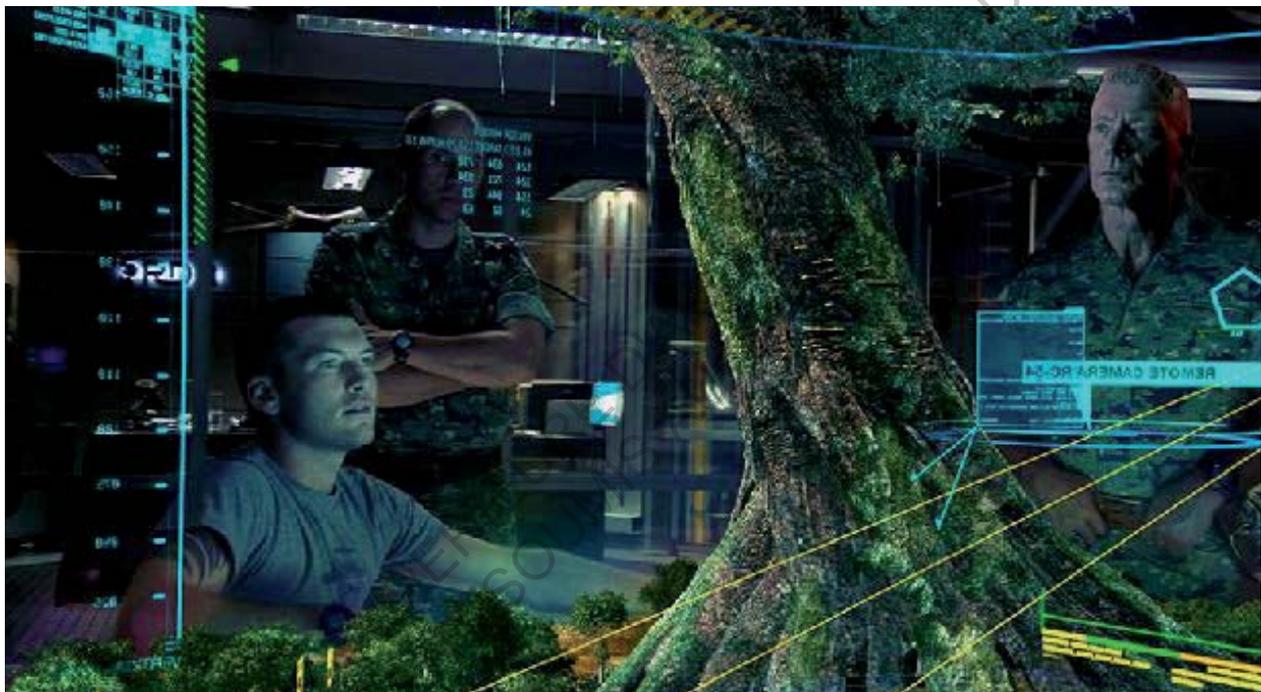


Figure 129: Vision holographique d'un environnement. Extrait du film Avatar.

VI. Conclusion

Toujours relégués en second plan ! C'est au final la place que nous accordons aux réseaux MEP. D'après Karen Kensek et son ouvrage "Manuel BIM, théorie et applications" (tableau 2.1 en page 59), l'intégration des éléments du MEP n'apparaissent que lors de la phase APD, juste avant celle de la phase PRO/DCE.

La partie historique de ce mémoire démontre que la grande majorité des MEP étaient présents sous une forme ou une autre avec les tout premiers abris ou logements que l'homme a confectionné. Cette perception historique met aussi en avant l'intelligence et l'observation que les hommes ont fait de leur environnement naturel, tant par l'utilisation de la matière première mise à disposition naturellement que, par les techniques élaborées pour bénéficier d'un confort toujours plus grandissant.

Outre la conception d'un espace extérieur et intérieur d'un logement, l'architecte se doit de tout prévoir lors de la réalisation d'un projet. Être sans faille est notre devise ! Hélas le monde du bâtiment touche un nombre de domaines divers et complexes. À la question devons-nous tout savoir ? Je répondrai presque tout. Les normes sont également complexes et nombreuses et il est quasiment impossible de toutes les maîtriser à la sortie de notre parcours scolaire. Néanmoins, il est, je pense, vital d'avoir une bonne connaissance de base. Il est surtout vital d'avoir une compréhension globale de celles-ci et, essentiel, d'avoir le vocabulaire des métiers des MEP.

L'exemple de l'asservissement est très intéressant. Il fait appel à un vocabulaire qui pourra effrayer un bon nombre de jeunes actifs. Mon parcours professionnel m'a permis d'observer le regard troublé de certains architectes lors de réunions sur des questions techniques. Malgré cela, il est important de retenir que la non-gestion, l'oubli voire le mépris des MEP peut avoir de fortes conséquences sur l'intention architecturale. Faut-il repenser le moment d'intégration des MEP dans un projet ? À vrai dire, l'intégration du BIM par l'ensemble des professionnels du secteur conduit inévitablement à repenser le mode de fonctionnement et d'intervention de tous les participants de la construction.

Le BIM produit un grand séisme dans le monde du BTP. L'usage innovant de la maquette numérique est au cœur de la transformation digitale des métiers de la construction. Dès les premières étapes de conception, la rigueur de l'outil BIM, offre aux concepteurs et au maître d'ouvrage des moyens d'analyse et de synthèse puissants. L'objectif de créer des MN plus précises est de pouvoir générer de meilleures estimations des coûts de construction, mais aussi de conduire une optimisation de la fabrication des réseaux MEP pour réduire le gaspillage de temps et de surcoût par des travaux supplémentaires (TS), souvent durs à justifier auprès du maître d'ouvrage. Entre 20 % et 35 % du coût de la construction sont attribués au MEP⁸². De plus, le BIM représente une opportunité de gestion liée à celle de l'exploitation et du patrimoine des ouvrages.

⁸² Source: Sylvain TEISSIER, vice-président Untec, étude réalisée sur les coûts de la Construction en 2015, disponible sur: <<http://www.untec.com/wp-content/uploads/2016/07/UNTEC-Rapport-d'étude-des-coûts-de-la-construction-Millésime-2015.pdf>>

À la question de la limite de représentation, il faut y voir plusieurs notions. Durant mon stage j'ai eu l'occasion de tester d'autres logiciels (Revit, Dialux) et je me suis rendu compte de la difficulté de prise en main d'une nouvelle interface surtout dans un temps imparti. Dans un second temps, notre rôle d'architecte n'est pas de dessiner avec une extrême précision les canalisations d'évacuation ou même les différents organes d'un système de chauffage ou un réseau électrique. Nous devons par contre donner une première esquisse de nos intentions. Je dirais que nous sommes des architectes. Nous ne sommes pas formés pour effectuer des calculs de dimensionnement sur des installations de chauffage ou autres

La communication est elle aussi un point fort du BIM. Peu importe le logiciel utilisé, il faut se transmettre les informations. Le format de fichier IFC est pour le moment un très bon moyen d'y parvenir. Il fait l'objet d'une norme ISO, qui je le rappelle est internationale. Et elle fonctionne très bien. Il faut simplement agir pour que la norme IFC ISO devienne une norme européenne et s'impose de ce fait aux éditeurs.

Par ailleurs, il ne faut pas perdre de vue que le BIM n'est qu'un outil. Ce n'est qu'un moyen de représentation comme l'est le crayon ou les outils de dessin assisté par ordinateur (DAO). Cette nouvelle méthode de travail impose certainement de revoir le mode de fonctionnement et de l'élaboration d'un projet. L'APS devra-t-il être plus poussé? Les entreprises devront-elles s'impliquer plus en amont du DCE ?

En revanche, je pense qu'il est dangereux pour l'architecte de ne pas aborder le BIM comme une nouvelle méthode de travail. Cette négligence pourrait le mettre en marge de cette inéluctable évolution. Il ne faut pas oublier que l'architecte est, et doit rester, au centre de la conception. Les outils ne sont là que pour mener le projet à bien. Assistons-nous à un profond changement de l'exercice du métier ou même d'une nouvelle manière d'enseigner l'architecture au sein des écoles françaises ?

Si pour certain le BIM est inévitablement la mort de l'architecte, alors la suite va vous faire froid dans le dos. La technologie numérique évolue à grand pas. La réalité virtuelle et la réalité augmentée sont proches de nous. Cette technique permet à un individu d'évoluer dans un monde virtuel, d'en éveiller des sens et de lui permettre d'interagir, le tout en temps réel. La VR offre-t-elle de nouvelles perspectives pour le monde de l'architecture, ou au contraire, sera-t-elle un frein pour la pensée architecturale ?

VII. Bibliographie

Ouvrage :

- Karen KENSEK. "Manuel BIM, théorie et application ". Eyrolles, août 2015, 255 pages
- Alain MALISSARD. "Les Romains et l'eau. fontaines, salles de bains, thermes, égouts, aqueducs...". Realia/Les belles lettres, mai 1994, 342 pages.
- Olivier Celnik, Eric Lebègue, Guersendre Nagy, "BIM ET MAQUETTES NUMÉRIQUES", Collection Eyrolles architecture, 29 OCTOBRE 2015. 625 p.

Sites web et articles sur site :

Générale

- AroChris, Écrit par AroChris, "Revit MEP - les connecteurs - Partie 1", disponible sur : <<http://www.arobim.fr/joomla/97-tutoriels-news/127-mep-connecteurs-1>>
- Derek Graham, "Part 1/4, Taking the Mystery out of Construction Shop Drawings", RepOne Independent Building Consultant. Disponible sur : <<http://repone.net/uncategorized/taking-mystery-shop-drawings-part-1-4/>>
- Derek Graham, "Part 2/4, Example of Shop Drawings and Detailing", RepOne Independent Building Consultant, disponible sur : <<http://repone.net/uncategorized/part-2-example-shop-drawings-detailing/>>
- Derek Graham, "Part 3/4, MEP coordination, BIM & CD : how do Shop Drawings fit in ?", RepOne Independent Building Consultant, disponible sur : <<http://repone.net/uncategorized/part-3-mep-coordination-bim-cad-shop-drawings-fit/>>
- Derek Graham, "Part 4/4, Shop Drawings or Sketches – What's the Real Deal ?", RepOne Independent Building Consultant, disponible sur: <<http://repone.net/uncategorized/shop-drawings-sketches-whats-real-deal-part-44/>>
- Histoire de la Grèce antique, disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Histoire_de_la_Grèce_antique>
- Le Moniteur, "BIM/maquette numérique contenu et niveaux de développement", publié le 09 mai 2014, disponible sur : <http://www.aricad.fr/ressources/10327/66/moniteur_21_mars_2014_article_bim.pdf>

Mécanique (CVC)

- Mariana Pickering, Architecture : "6 techniques ancestrales pour une maison fraîche en été." publié le 7 août 2015 dans Houzz.fr, disponible sur : <<http://www.houzz.fr/ideabooks/30202606/list/architecture-6-techniques-ancestrales-pour-une-maison-fraiche-en-ete>>
- Gaëlle Hennion, "Histoire de l'éventail", Publié dans : "les articles histoire de Gaëlle Hennion" février 2010, disponible sur : <<https://scribium.com/gaëlle-hennion/a/histoire-de-leventail/>>
- Dijon-Vitrierie, "Histoire du verre", disponible sur : <http://www.dijon-vitrierie.fr/images/accueil/histoire_du_verre.pdf>
- Wikipédia, l'encyclopédie libre, "Ventilation", disponible sur : <<https://fr.wikipedia.org/wiki/Ventilation>>
- Corinne Iannaccone, CSTB, "Etat de la ventilation dans les logements Français", publié le 16 juin 2008, disponible sur : <http://www.oqai.fr/userdata/documents/211_dossier_ventilation_des_logements_ok.pdf>

Electricité

- Eric De Legge, Journal du net (J DN), "Legrand, de la porcelaine à l'électricité." publié le 14 mai 2008, disponible sur : <<http://www.journaldunet.com/economie/magazine/dossier/les-premiers-produit-des-grandes-entreprises-a-leur-debut/legrand-de-la-porcelaine-a-l-electricite.shtml>>
- Schneider Electric, "Norme NF C 15-100 (amendement A 5) et réglementations sur le bâtiment résidentiel", disponible sur : <<http://www.schneider-electric.fr/fr/work/support/reglementation/>>
- Legrand, legran.com, "Historique du groupe", disponible sur : <http://www.legrand.com/FR/timeline_13020.html>
- Dailymotion, documentaire : "les établissements Legrand ", enregistré le 04 juin 1969 et publié le 26 octobre 2010, disponible sur : <http://www.dailymotion.com/video/xfen2np_les-etablissements-legrand_news>
- RMC Découverte, documentaire : "Il était une fois l'électricité : de l'ambre à la lumière", disponible sur : <<https://www.youtube.com/watch?v=oPkf7Q-J9e8>>
- Wikipédia, l'encyclopédie libre, "Histoire de l'électricité", disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Histoire_de_l'electricite>
- Wajih Al Sakkar, Détails d'architectures, "Un architecte égyptien (ré)invente la climatisation ", publié le 19-10-2010 et adapté par Sipane Hoh, disponible sur : <<http://www.detailsdarchitecture.com/tag/tour-a-vent/>>
- Maurice Magnien, Centre de recherche sur la culture technique, Neuilly-sur-Seine (FRA), "Du rêve à la rigueur : la maison électrique de Georgia Knapp (1913)", publié en 1980.
- Eve Jouanais "Lycée Gallieni de Toulouse", disponible sur : <http://www.constructalia.com/francais/galerie_de_projets/france/lycee_gallieni_de_toulouse>
- Sécurité incendie, disponible sur : <<http://www.sitesecurite.com/portail/index.asp>>
- Xavier Pinon, fournisseur-électricité.com, "Union Technique de l'Electricité", publié le 18-01-2014, dernière mise à jour le 18-04-2014, disponible sur : <<https://www.fournisseurs-electricite.com/ute>>

Plomberie

- Le centre d'information sur l'eau, "eau potable pour tous, une conquête récente", publié le 4 avril 2013, disponible sur : <<http://www.cieau.com/l-eau-potable/l-eau-potable-pour-tous-une-conquete-recente>>
- Wolfgang Schenkel, "Les systèmes d'irrigation dans l'Égypte ancienne et leur genèse", Archéo-Nil, publié en mai-juin 1994, consulté le 13 juillet 2016, 35 pages, disponible sur : <<http://www.archeonil.fr/revue/AN04-1994-Schenkel.pdf>>
- Figoli, Attelage-patrimoine, "Voitures de porteur d'eau et de livreur d'eau", publié le 30 octobre 2013, disponible sur : <<http://www.attelage-patrimoine.com/article-voitures-de-porteur-d-eau-et-de-livreur-de-bain-120861379.html>>
- Maquette Land, Claude Balmeffrezol, "Rome aqueducs", publié le 12/06/2016, disponible sur : <<http://www.maquetland.com/article-1931-rome-aqueducs>>
- Léon La Lune, Paris Anecdote, Racine d'une ville, "Les porteurs d'eau", publié le 26 décembre 2014, disponible sur : <<http://www.paris-anecdote.fr/Les-porteurs-d-eau.html>>
- L'OBS, "Eau potable : date butoir pour changer les canalisations au plomb", publié le 06 décembre 2013, disponible sur : <<http://tempsreel.nouvelobs.com/immobilier/copropriete/20131206.OBS8604/eau-potable-date-butoir-pour-changer-les-canalisation-au-plomb.html>>
- Pierre Dessers, "Tuyaux en cuivre", publié le 29 octobre 2007, disponible sur : <<http://www.enseignons.be/upload/secondaire/batiment/29-10-07Tuyaux-en-cuivre.pdf>>

- Institut Européen du Cuivre, "L'histoire du cuivre à travers les âges", disponible sur : <<http://copperalliance.fr/le-cuivre/le-cuivre-dans-l-histoire>>
- Agence de l'eau, "le parcours des eaux usées", consulté le 10 août 2016, disponible sur : <<http://www.eaurmc.fr/juniors/cahiers-pedagogiques/parcours-eaux-usees.php>>
- Roger Cadiergues, xpair.com, "les eaux et le sanitaire", consulté le 20 décembre 2016, disponible sur : <<http://media.xpair.com/auxidev/nR70a.pdf>>

Analogie

- Isabelle Nony, "Manières d'habiter et évolution des pratiques professionnelles dans différents champs du (travail) social : Qu'est-ce que le domicile ?", Séminaire du 23 juin 2011, disponible sur : <http://www.etsup.com/IMG/pdf/4P_Maniere_d_habiter_semi1_V3_200911.pdf>
- Futura-science, " Fonctions du poumon" disponible sur : <<http://www.futura-sciences.com/sante/definitions/biologie-poumon-7024/>>
- Adnan Oktar, "L'électricité : l'énergie essentielle du corps", publié le 06-06-2011, disponible sur : <<http://www.harunyahya.fr/fr/Articles/42641/lelectricite--lenergie-essentielle-du>>
- Vivarchi, "L'architecture expression vivante du corps humain" article publié dans la revue d'IFMA France, disponible sur : <<http://www.vivarchi.com/spip.php?article7>>
- Estelle Carciofi, Recherches Arctiques, "Un habitat ancestral en Arctique : la maison en os de baleine", publié le 10 avril 2008, disponible sur : <<http://recherchespolaires.inist.fr/?Un-habitat-ancestral-en-Arctique>>

Rapports :

- C. Bob Tatum and Thomas Korman, "MEP Coordination in Building and Industrial Projects", Stanford University, publié en mars 1999. Disponible sur : <<http://cife.stanford.edu/sites/default/files/WP054.pdf>>
- BIM FORUM, "Level of Development Specification," par BIM FORUM, version 30 octobre 2015. Disponible sur : <<https://bimforum.org/lod/>>
- Bernard Ferriès et Marion Bonhomme, La maquette numérique un moyen d'augmenter la densité informationnelle d'un territoire ? Disponible sur : <http://lra.toulouse.archi.fr/lra/presentation/composition-du-laboratoire/Marion_Bonhomme/ActesSCAN14_v04_id48.pdf>

Source des images :

- Figure 01 : <<http://bimcrunch.com/2014/02/introducing-magicad-the-bim-ready-mep-software-for-autocad-and-revit/>>
- Figure 02 : <<https://fr.wikipedia.org/wiki/Éventail>>
- Figure 03 : <<http://www.detailsdarchitecture.com/tag/tour-a-vent/>>
- Figure 04 : <http://pignolos.pagesperso-orange.fr/college/4e_en+ piles.htm>
- Figure 05 : <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bouteille_de_leyde.png>
- Figure 06 : <<http://www.jimonlight.com/categories/electricity/page/3/>>
- Figure 07 : <<http://laurentlefeuvre.over-blog.com/article-sedentarisation-elevage-et-artisanat-44178170.html>>
- Figure 08 : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Empire_romain>
- Figure 09 : <<http://www.net-provence.com/pont-du-gard.htm>>
- Figure 10 : <<http://www.detailsdarchitecture.com/tag/tour-a-vent/>>
- Figure 11 : <<http://www.technomc.info/Architecture%20bio%20climatique/archi%20bio%20grec.htm>>
- Figure 12 : <<http://www.houzz.fr/photos/15197695/historic-ways-of-cooling-and-heating-from-around-the-world>>

- Figure 13 : <<http://www.eolevmc.fr/syndic/ventilation-immeuble.html>>
- Figure 14 : <<http://www.outiz.fr/vd-caisson-vmc-kerios-905185/p/3511045/>>
- Figure 15 : <[https://www.mesmatériaux.com/chauffage-7/ventilation-593/ventilation-vmc-594/ventilation-double-flux-596/kit-vmc-double-flux-360-standard-\(dmo\)-30834.html](https://www.mesmatériaux.com/chauffage-7/ventilation-593/ventilation-vmc-594/ventilation-double-flux-596/kit-vmc-double-flux-360-standard-(dmo)-30834.html)>
- Figure 16 : Extrait du Livre RTE, "Cent ans de haute tension électrique à Paris sous les pavés, les câbles".
- Figure 17 : <http://jacob.patrick.free.fr/rss/co/chute_tension_web/co/02_calculs.html>
- Figure 18, 19, 20, 21, 22, 23 : Extrait du Livre RTE, "Cent ans de haute tension électrique à Paris sous les pavés, les câbles".
- Figure 25 : <http://www.legrand.fr/presse/dossier-mosaic-un-marche-en-profonde-mutation_586.html>
- Figure 24, 26, 28, 33, 36, 37, 39, 40, 43, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 53, 54, 55, 56, 57 : <<http://leradiofil.com/ElecPrim.htm>>
- Figure 27 : <<https://www.legrand.fr/pro/catalogue/31034-poignee-rougeplastron-jaune/inter-sectionneur-vistop-63-a-4p-cde-laterale-poignee-rouge>>
- Figure 29: <<https://www.monmagasingeneral.com/porte-fusible-unipolaire-legrand-intensite-10-a-1068741.html>>
- Figure 30 : <<http://forum-camping-car.fr/forum/8236/fiches-allume-cigare-bi-standard-interrupteur.html?discussionID=1168>>
- Figure 31 : <<http://www.leroymerlin.fr/v3/p/produits/disjoncteur-phase-neutre-legrand-16-a-e36885>>
- Figure 32 : <<https://www.bricoeleclanguedoc.fr/la-maison-retro-b5941.html>>
- Figure 34 : Extrait de Schneider Electric, "Guide Norme NF C 15-", guide 201-amendement A5.
- Figure 35 : Extrait de Maurice Magnien, "Du rêve à la rigueur : maison électrique de Georgia Knapp (1913)"
- Figure 38 : <<http://www.confort-electrique.fr/prise-courant-2pt-legrand-mosaic-p-511.html>>
- Figure 41 : <<http://www.la-maison-electrique.com/boite-etanche/kit-applique-e27-xl-air-métic-dcl-douille-dcl-e27-53077+1370.html>>
- Figure 42 : <<http://smartsleep.e-monsite.com/pages/les-ampoules-a-incandescence.html>>
- Figure 44 : <<http://www.perrot-electricite.com/electricite.php>>
- Figure 52 : <<http://www.e-genieclimatique.com/froid06-mon-premier-montage-partie-2-schemas-electriques-froid-et-cablage-et-quelques-conseils/>>
- Figure 58 : <<http://decouvertes-archeologiques.blogspot.fr/2013/07/decouverte-dun-puits-romain.html>>
- Figure 59, 61, 62, 64 : <<http://www.cieau.com/l-eau-potable/l-eau-potable-pour-tous-une-conquete-recente>>
- Figure 60 : <<https://echino.files.wordpress.com/2007/12/chadouf-web2.jpg>>
- Figure 63 : <<http://www.maquetland.com/article-1931-rome-aqueducs>>
- Figure 65 : <<http://www.maquetland.com/article-1931-rome-aqueducs>>
- Figure 66 : <<http://www.paris-aneedote.fr/Les-porteurs-d-eau.html>>
- Figure 67 : <<http://archeographe.net/node/459>>
- Figure 68 : <<http://archeo16.ch/archeo16/node/22>>
- Figure 69 : <<http://bricolage-en-tout-genre.centerblog.net/36-comment-realiser-une-arrivee-eau-tubes-de-cuivre>>
- Figure 70 : <<http://www.bronmetal.com/fr/produit/tubes-electriques/10>>
- Figure 71 : <<https://www.anjou-connectique.com/cintreuse-rems-swing-tube-cuivre.html>>
- Figure 72 : <<http://www.virax.com/index.php/fr/p/30271/coupe-tube-cuivre/coupe-tube-cuivre-zr-42-6-42-mm>>
- Figure 73 : <<http://bianucci-materiaux.com/sanitaire/plomberie.html>>
- Figure 74 : <<http://www.delfingen.com/our-building-housing-products/produits-chauffage-sanitaire.htm>>
- Figure 75 : <<http://www.lyc-eiffel-massy.ac-versailles.fr/spip.php?rubrique100>>
- Figure 76 : <<http://notremaison31.blogspot.fr/2011/09/realisation-du-soubassement.html>>
- Figure 77 : <http://www.musees-franchecomte.com/index.php?p=107&art_id=579>
- Figure 78 : <<https://fr.dreamstime.com/images-stock-fontaine-antique-image26127514>>
- Figure 79 : <<http://www.plombier-boissysaintleger.fr/robinet>>
- Figure 80 : <<http://www.tomberdanslespoires.com/schema-traitement-eau-cycle-3.html>>
- Figure 81 : <<https://funtastique.fr/les-objets-ont-une-ame-et-certains-ne-sen-cachent-pas/>>

- Figure 82 : <http://fr.123rf.com/photo_214736_centre-pompidou.html>
- Figure 83 : <<http://metro.co.uk/2014/01/27/eugene-viollet-le-duc-todays-google-doodle-in-30-seconds-4278517/>>
- Figure 84 : Production personnelle avec le logiciel Essential Anatomy
- Figure 85, 90, 93, 95, 96, 97, 101, 102, 103, 104, 106, 107 : Production personnelle
- Figure 86 : <<http://www.splus.fr/fichiers/reglementation-chaufferie.pdf>>
- Figure 87 : <<http://www.splus.fr/fichiers/reglementation-chaufferie.pdf>>
- Figure 88 : <<http://www.splus.fr/fichiers/reglementation-chaufferie.pdf>>
- Figure 89 : <<http://www.splus.fr/fichiers/reglementation-chaufferie.pdf>>
- Figure 91, 92 : <<http://www.metalifer.fr/metallerie-serrurerie/>>
- Figure 94 : <http://www.sde18.com/fileadmin/user_upload/temp/Fiche-electrification_7HD.pdf>
- Figure 98, 99, 100, : <http://www.constructalia.com/francais/galerie_de_projets/france/lycee_gallieni_de_toulouse>
- Figure 105 : <http://www.ffbatiment.fr/federation-francaise-du-batiment/laffb/mediatheque/batimetiers.html?ID_ARTICLE=1919>
- Figure 108 : <<http://www.objectif-bim.com/index.php/bim-maquette-numerique/le-bim-en-bref/les-niveaux-du-bim>>
- Figure 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121 : <http://www.aricad.fr/ressources/10327/66/moniteur_21_mars_2014_article_bim.pdf>
- Figure 122 : <http://www.edilportale.com/prodotti/graphisoft-italia/disegno-tecnico-cad-2d-3d/mep-modeler_252121.html>
- Figure 123 : <<http://bimon.it/blog/tutorial-revit-mep-2016-parte-di-fabbricazione/>>
- Figure 124 : <<http://www.demainlaville.com/laffaire-bim/>>
- Figure 125 : <<http://us.123rf.com/450wm/antiv/antiv1601/antiv160100003/51580861-3d-hologramme-d-interface-futuriste-ligne-blanche-et-la-forme.jpg?ver=6>>
- Figure 126 : <<http://www.lfr-geomatik.fr/carriere/>>
- Figure 127 : <<http://villagebim.typepad.com/villagebim/2013/05/autodesk-revit-2014-les-nouveautes-a-l-affiche.html>>
- Figure 128 : <<http://www.life3d.fr/tag/numerisation-3d/>>
- Figure 128 : <<http://rennes-nord.reseau-chaaleur.fr/fr/accueil/le-reseau-de-chaaleur/qu-est-ce-qu-un-reseau-de-chaaleur--/qu-est-ce-qu-un-reseau-de-chaaleur--/>>
- Figure 129 : <<http://picphotos.net/hologram-building-hd/>>

Mémoire de séminaire : conditions de consultation

Ce document est protégé par le droit d'auteur (art. L. 112-1 du Code de la propriété intellectuelle).

L'auteur du document accorde les droits d'usages suivant :

	OUI	NON
Consultation sur place		
Impression		
Diffusion Intranet		
Diffusion Internet		
Exposition		
Publication non commerciale		