

Les matériaux de couverture *histoire*
de l'urbanisation de la ville et l'histoire de la technologie
industrielle

En regardant une ville (cf. Figure 48), nous trouvons un paysage spécifique et très diversifié de matériaux de toiture. Cette diversité est marquée par une empreinte historique. Des toitures anciennes en cuivre, des toitures-terrasses nouvelles, des toitures en tuiles, des monuments historiques...



Figure 48 : Paysage de la ville de Paris

L'évolution historique de l'urbanisation de la ville ainsi que le développement rapide de l'industrie et la technologie des matériaux agissent sur l'utilisation, l'apparition, la disparition et l'évolution d'un matériau. Cette évolution se manifeste par l'apparition de nouveaux matériaux, des nouvelles méthodes de fabrication, des améliorations apportées aux propriétés des matériaux, une forte augmentation de l'utilisation de certains matériaux et enfin la concurrence entre matériaux (Sandström, 1994).

Cette évolution historique relie deux choses la *ville* et les *matériaux de construction*. Ce duo est extrêmement dépendant, l'évolution de l'un explique l'autre et inversement.

Dans ce chapitre, nous allons présenter dans un premier temps l'histoire de l'évolution du paysage urbain croisée avec l'histoire de l'architecture. Dans un second temps, nous allons décrire l'évolution historique de chaque matériau et des contraintes réglementaires de l'époque en question lesquelles vont déterminer son usage ou voire même son interdiction. Deux tableaux ont été élaborés, un tableau résumant les grandes périodes d'évolution du paysage urbain français et un tableau chronologique a été conçu pour retracer et repérer les grandes lignes de l'évolution historique des matériaux de toiture. Il s'est avéré que la révolution industrielle a énormément marqué le paysage urbain et révolutionné le domaine de matériaux de toiture.

Une recherche bibliographique¹⁵ a été effectuée pour collecter les informations à partir des ouvrages de discipline chimie et bâtiments au sein des différentes bibliothèques universitaires, et plus spécifiquement celles qui sont liées à notre centre d'intérêt. Une quête de données au CNAM (Conservatoire National des Arts et Métiers) a été effectuée par le moyen de la consultation des guides et traités pratiques des architectes et manuels de couvreurs. Enfin, nous avons élaboré des entretiens avec les experts de la couverture qui ont permis d'approfondir des éléments historiques. La description de ces entretiens est dressée dans le [Chapitre 2.4](#).

Ces nombreuses références présentent des explications sur la mise en œuvre des différentes toitures, l'entretien et les caractéristiques de chaque matériau. Comme décrit dans le [Chapitre 1.1](#), certains matériaux subissent-ils des traitements spécifiques avant la mise en œuvre ou pendant la vie en œuvre ce qui conduit à des nouvelles variétés de matériaux ayant de nouvelles caractéristiques. Ceci entraîne à son tour de nouvelles données sur la contamination de l'eau de ruissellement. Dans ce chapitre, nous allons dater l'apparition des différentes variétés.

1. Histoire de l'urbanisation de la ville

La ville est définie comme un centre, un lieu de concentration non seulement de population, mais de civilisation. Elle forme, dans son ensemble, un organisme artificiel inséré dans

¹⁵ Le travail de repérage et de recherche bibliographique a été effectué dans le cadre d'un stage licence (Foughali, 2013), ce travail a été traité et analysé par nous dans ce chapitre.

l'environnement naturel, et lié à ce dernier par un rapport délicat ; elle respecte les grandes lignes du paysage naturel, qui en beaucoup d'endroits significatifs est laissé intact, elle l'interprète et l'intègre par des productions architecturales (Benevolo, 2004).

La notion de la ville est apparue depuis l'Antiquité. En tant qu'unité organisationnelle d'une civilisation, la ville évolue sensiblement au cours du temps. Avec la révolution industrielle, la ville connaît de grands changements avec la massivation de la population et donc une nécessité de réorganiser l'espace bâti faisant apparaître de nouveaux règlements d'urbanismes et de nouvelles approches d'aménagement.

La ville ancienne de l'Antiquité à la Renaissance

Dans ce paragraphe nous nous basons sur un travail de thèse sur l'histoire des villes « Lieux et modèles : l'exemple des villes de fondations au XXe siècle » (Le Xuan, 2011) et de l'ouvrage « Histoire des villes » (Benevolo, 2004) utilisé par Le Xuan (2011) et que nous nous procurons pour clarifier quelques idées.

1.1.1. La ville ancienne de l'Antiquité

Le milieu bâti de la société paléolithique est à peine une modification superficielle de l'environnement naturel, immense et hostile, dans lequel l'homme commence à se mouvoir. Le refuge est alors une cavité naturelle ou un abri de peaux posées sur une structure rudimentaire en bois.

L'environnement des sociétés néolithiques a évolué, il n'est plus uniquement un simple abri : il comprend désormais les terrains cultivés, les abris des hommes et des animaux domestiques, les dépôts de nourriture, l'outillage nécessaire à la culture, l'élevage, la défense la décoration et le lieu de culte (Benevolo, 2004). Cette civilisation s'organise dans des villages construits en cercles concentriques avec, au centre, les réserves, puis les huttes encerclées par une palissade protégeant les habitants des prédateurs et des tribus hostiles. Les matériaux utilisés pour ces bâtis sont issus des produits naturels (bois, végétaux et peaux d'animaux...).

Au début du III^e millénaire av. J.-C, les villes subissent des mutations en rassemblant désormais plusieurs dizaines de milliers d'habitants. Elles sont entourées d'un mur et d'un fossé qui les défendent et qui séparent pour la première fois, l'environnement ouvert naturel de l'environnement fermé de la ville. Les temples sont ainsi plus grands et plus élevés que les

simples maisons comprenant des ateliers, des entrepôts et des boutiques où vivent et travaillent différentes catégories de spécialistes (Benevolo, 2004).

Deux modèles de ville anciennes marquent l'histoire de la civilisation : le modèle grec et le modèle romain. La ville grecque est un modèle universel organisé : elle est divisée en trois zones : les zones privées occupées par les maisons d'habitation, les zones sacrées telles les enceintes des temples des dieux et les zones publiques destinées aux réunions politiques, au commerce, au théâtre, aux jeux du stade, etc. (Benevolo, 2004).

Après la ville grecque, la ville romaine marque énormément l'histoire pendant une douzaine de siècles. Ce modèle s'avère plus développé que celui grec. Pour la première fois dans l'histoire humaine, les Romains créent, sur l'ensemble du monde méditerranéen, de nombreuses agglomérations humaines, de colonies civiles et militaires, reliées entre elles et liées à Rome par un réseau complet d'infrastructures de grande qualité (les routes, les ponts, les aqueducs, les lignes fortifiées, etc.) assurant le fonctionnement d'un grand empire, autour de son centre de pouvoir. Les villes romaines regroupent les centres politiques, administratifs et religieux. Dans toutes les villes nous trouvons les mêmes types de bâtiments dont l'aspect ne diffère qu'en fonction des possibilités techniques et financières locales (Le Xuan, 2011).

1.1.2. La ville de la renaissance

En Europe, les villes médiévales se sont organisées autour de la cathédrale ou du château et sont protégées par leurs murs (Le Xuan, 2011). Il faut attendre la fin du Moyen-âge pour retrouver de grands mouvements créateurs (Benevolo, 2004). La Renaissance de l'Europe bouleverse le paysage urbain. Les places royales et les larges avenues deviennent les symboles des nouvelles villes. Il s'agit des villes fortifiées, de la ville princière à la place forte, conçues par les architectes et les ingénieurs militaires. Elles sont de forme strictement géométrique et symétrique avec des murs repoussés aux extrémités du territoire national par le travail de fortification de la frontière. Dans ce cadre apparaissent les villes royales européennes : Versailles, Saint-Pétersbourg, Karlsruhe, Schönbrunn, Caserte, etc. En France, depuis le début du 17^{ème} siècle, le territoire rural autour des villes subit une transformation radicale surtout autour de Paris. De grands travaux urbains sont effectués, surtout l'ouverture de places en formes régulières entourées de lotissements, et édifices royaux réalisés à Paris (Le Xuan, 2011). Ce mouvement persiste jusqu'à la fin du 18^{ème} siècle. Les matériaux utilisés pendant cette époque sont à base de produits naturels mais plus élaborés. Il s'agit des pierres taillées, des matériaux produits à partir de l'argile (ex : terre cuite)...

1.2. La révolution industrielle et la ville moderne

La révolution industrielle, apparue dans la seconde moitié du 19^{ème} siècle, provoque un grand bouleversement à tous les niveaux en Angleterre puis dans le monde entier. Elle est considérée parmi les mutations fondamentales de l'histoire humaine (Benevolo, 2004). Cette révolution touche particulièrement le milieu bâti, ainsi l'organisation de la ville et du territoire sont influencés. En effet, les villes connaissent une croissance fulgurante, le nombre d'habitants augmente. En Angleterre ce nombre passe de 7 millions en 1760 à 14 millions en 1860 et de même à Paris ce nombre double entre 1850 et 1970. De plus, la structure de la population change car le nombre de jeunes augmente. Les biens et les services produits par l'agriculture, l'industrie et les activités tertiaires augmentent aussi, grâce au progrès technologique et au développement économique. Ce développement est poussé par la croissance de la population qui réclame des biens et des services plus nombreux. Cette nouvelle population en accroissement a été redistribuée sur le territoire. Les paysans qui étaient propriétaires exploitants deviennent salariés ou bien ouvriers dans l'industrie (Benevolo, 2004). Pour faire face à cette croissance, de nouvelles formes de planification et d'interventions vont apparaître. Un nouveau paysage urbain se dessine, l'apparition de nouveaux bâtiments tels que les usines qui se concentraient autour des villes (AOCDF, 1989). Les moyens de communications se développent : les routes à péage, les canaux navigables, réalisés en Angleterre à partir de 1760, les voies ferrées introduites en 1825 et diffusées rapidement dans plusieurs pays, l'apparition des navires à vapeurs, etc. (Benevolo, 2004).

L'époque industrielle provoque une croissance extrêmement rapide de la ville caractérisée par la formation d'une nouvelle zone autour de la ville appelée *la périphérie*. En effet, le centre de la ville s'est formé au Moyen-âge, il renferme les principaux monuments tels que l'église et le palais qui souvent dominant encore le panorama de la ville. Avec la nouvelle forme de la ville, ce centre ne peut devenir le centre d'une agglomération humaine plus grande. En effet, les rues sont trop étroites pour contenir le trafic en expansion, les maisons sont trop petites et trop compactes pour abriter sans inconvénients une population plus dense (Benevolo, 2004). Par exemple, à Paris, le style Haussmannien, façonne la ville telle que nous la connaissons aujourd'hui. La population ouvrière est refoulée vers les quartiers périphériques. Au centre, s'installe la bourgeoisie avec ses résidences, ses grands magasins et ses édifices publics ; les transports urbains sont développés. À Londres, la City perd 70 % de ses habitants entre 1800 et 1870. Ainsi, les classes possédantes abandonnent peu à peu le centre pour s'installer dans la

périphérie et les pauvres s'entassent dans les vieilles maisons. Les édifices monumentaux de la ville historique sont abandonnés, les zones vertes (ex : les jardins situés derrière les maisons) sont occupées par de nouvelles constructions tels que les hangars industriels (Benevolo, 2004).

Dans la suite nous nous focalisons sur le développement du paysage urbain français à partir de la révolution industrielle.

Le parcours de l'histoire de l'urbanisme de la période allant du milieu du 19^{ème} siècle jusqu'au début du 21^{ème} siècle nous permet de cerner des repères importants voire parfois décisifs dans l'évolution de l'architecture urbaine en particulier pour les toitures.

Ce paragraphe s'est basé sur les ouvrages « Histoire du paysage français » (Pitte, 1984), « La ville et ses territoires » (Roncayolo, 1982) et « La ville d'aujourd'hui » (Roncayolo, 2001). Pour l'histoire de l'architecture nous nous basons sur les ouvrages « L'architecture moderne en France Tome 1 1889-1940 » (Loupiac *et al.*, 1997) , « L'architecture moderne en France Tome 2 : Du chaos à la croissance 1940-1966 » (Abram et Monnier, 1999), « L'architecture moderne en France Tome 3 : De la croissance à la compétition 1967-1999 » (Monnier, 2000) et « Architecture en France (1940-2000) : Histoire et théories » (Lucan, 2001).

1.2.1. La révolution industrielle : 1850 -1900

La révolution industrielle a fortement marqué le développement des techniques architecturales. Ces modifications ont été ressenties en premier plan au niveau des bâtiments liés à la production. En effet, au 18^{ème} siècle, aucune distinction n'est faite entre un hôpital, un palais, une caserne et des manufactures. Un grand nombre de villes se sont dotées de ceintures de lotissements. Les premiers lotissements du milieu du 19^{ème} siècle sont l'école, la maison individuelle entourée d'un jardin.

L'architecture de cette époque est basée sur l'utilisation du métal. Ainsi, à partir de 1850 l'utilisation du métal est favorisée dans les nouveaux de bâtiments, notamment les charpentes et les planchers. Le succès du métal (fer et acier) est dû à la facilité et la rapidité de sa mise en œuvre ainsi que le gain d'espaces assurés par les structures métalliques. Néanmoins, l'utilisation du métal est partielle et masquée comme à l'Opéra de Paris (1861-1875) où Charles Garnier dissimule sous les marbres les ossatures métalliques. A partir de 1890, le métal est franchement exprimé dans les usines, certains magasins, certains bâtiments administratifs ou des immeubles industriels.

La fin du 19^{ème} siècle a été marquée par l'invention du béton armé en 1867 utilisé en première fois dans un immeuble à Paris en 1892. Ainsi, l'acier est soumis à la concurrence du béton armé.

1.2.2. Les nouvelles formes de logements : 1900-1920

La loi de Siegfried qui fut promulguée en 1894, a encouragé l'habitation à bon marché (HBM). Il s'agit de nouvelle forme de logements sociaux. Ce texte est amélioré en 1906 et 1908 avec la création de la société de Crédit Immobilier. La loi Bonnefoy du 23 décembre 1912 consiste le véritable point de départ d'une politique du logement moderne. Ainsi, les HBM font leur apparition. Ces hautes constructions de 6 à 8 étages sont réalisées dans toute la France, les plus connues se sont celles localisées à Paris.

La loi du 31 décembre 1913 relative aux monuments historiques et à leurs abords, dote les édifices classés d'une protection absolue et les édifices inscrits à l'inventaire supplémentaire d'une protection plus légère.

1.2.3. La croissance urbaine et l'apparition de la toiture-terrasse : 1920-1940

La croissance urbaine reprend après la première guerre mondiale, plus de deux millions de personnes viennent s'installer en ville. La réorganisation de l'espace bâti se manifeste entre les deux guerres (1920-1939) par une séparation entre les zones industrielles des quartiers d'habitation des ouvriers. Des zones exclusivement industrielles voient le jour à côté du paysage anarchique des banlieues industrielles.

Une loi mise en place le 2 mai 1930¹⁶ permet un classement des sites urbains ou ruraux. Cette initiative introduit en même temps les notions de monuments naturels et de sites protégés.

La période qui suit l'année 1936 comporte la date de l'institution des congés payés généralisés. Ainsi, avec le climat de stabilité de l'après-guerre, les citoyens français prennent l'habitude de partir en vacances ce qui favorise la construction des stations balnéaires de type familial, sur les côtes de la Manche et de l'Atlantique.

Cette période (1920-1940) est caractérisée par une architecture moderne¹⁷. Dans ce cadre, Le Corbusier revendique une architecture esthétique basé sur la pureté, la simplicité, l'exactitude et la nudité. Il refuse tout ornement et se concentre sur les formes géométriques et sur la

¹⁶ Loi du 2 mai 1930 relative à la protection des monuments naturels et des sites de caractère artistique, historique, scientifique, légendaire ou pittoresque.

¹⁷ Le mouvement modernisme est un courant principal de l'architecture apparu après la deuxième guerre mondiale en France. Ces trois composantes principales sont le fonctionnalisme, le rationalisme, la puissance de la forme. La puissance de la forme se traduit par la construction des tours de plusieurs étages.

volumétrie. En 1922, le Corbusier, tenant d'un urbanisme fonctionnaliste, met au point son « Projet pour une ville contemporaine de trois millions d'habitants », qu'il applique en 1925 à Paris sous le nom du « Plan voisin », suivi en 1930 du projet « Ville radieuse ». Il exprime pour la première fois ses conceptions. A ce propos la toiture est systématiquement en terrasse dans les nouvelles constructions en particulier dans la banlieue parisienne.

En 1938 cinq tours de 16 étages avec des toitures-terrasses sont construites à Drancy. A cette occasion, le premier gratte-ciel (90 m) construit en France voit le jour à Amiens en 1948.

Cette période est caractérisée par l'utilisation de matériaux métalliques nouveaux de construction (ex : acier) surtout dans les zones industrielles. Ainsi, une architecture usinière plus gaie fait son apparition avec l'utilisation de l'aluminium, de l'acier inoxydable, des peintures de couleurs vives, etc.

1.2.4. La reconstruction et l'instrumentation de l'urbanisme : 1940-1960

Entre 1940 et 1944 débute la première reconstruction des villes suite à la destruction de près de 70 000 bâtiments et l'endommagement de 200 000 bâtiments pendant la guerre. Ainsi, des projets sont lancés partout en France. La loi du 25 février 1943 relative à la protection des abords des monuments historiques, instituant un périmètre de protection d'un rayon de 500 m autour des monuments historiques provoque des profonds changements dans l'histoire de l'urbanisme. A cet effet, aucune transformation ou construction d'immeuble à l'intérieur de ce périmètre ne peut avoir lieu sans autorisation.

La deuxième reconstruction est débutée avec la mise en place d'un appareil d'Etat. Ainsi, en 1945, un événement de portée particulièrement décisive est survenu; il s'agit de la création du Ministère de la Reconstruction et de l'Urbanisme (MRU). A partir de 1945, les principes d'urbanisme sont inspirés par Tony Garnier le fondateur de l'urbanisme progressiste¹⁸. Ces principes se basent sur la séparation des fonctions urbaines par un zonage strict : travail, résidence, loisir, commerce. Cette année marque aussi le début des « trente glorieuses ». Les constructions sont en béton armé avec des toitures-terrasses. Le changement ne cesse de s'opérer dans le paysage urbain. Le Corbusier déploie tout de même une certaine activité en construisant dans plusieurs villes des Unités d'Habitation dans le cadre du projet « Ville radieuse ». A titre d'exemple, celle de Marseille voit le jour entre 1947 et 1952.

¹⁸ L'urbanisme progressiste est fondé par Charles Fourier, Robert Owen, puis Le Corbusier. Il se base sur la rationalité de l'usage des sols et des formes urbaines, la séparation des fonctions, l'organisation des trames viaires et des réseaux routiers et de transports collectifs, la standardisation des formes construites, l'importance des espaces verts, de l'air et de la lumière...

Entre la période de la fin de la guerre et 1950, la reconstruction demeure limitée dans ses effets sur le paysage urbain, une reprise lente de la construction a commencé en 1950. A partir de 1960, le rythme de construction s'accélère jusqu'au pic de 1975. Ce bouleversement est dû à 3 grands facteurs déclenchés après la guerre :

- la croissance industrielle et tertiaire et le retour d'un million de Français d'Afrique du Nord ;
- l'évolution économique : durant une vingtaine d'années les pouvoirs publics se sont contentés à satisfaire les besoins quantitatifs en logements. Ceci explique le choix du collectif et ensuite qualitatif qui favorise l'accession à la propriété de maisons individuelles ;
- la notion des monuments historiques se développe en France où une nouvelle doctrine à leur restauration et entretien prend forme en prônant la discrétion des travaux effectués. Ces projets sont ainsi animés par l'esprit de retour aussi proche que possible aux techniques anciennes et surtout l'élimination des parties ou des décors ajoutés à la construction originelle.

Des grandes constructions apparaissent comme celle de Firminy et Berlin en 1957, celle de Nantes de 1952 à 1957 et celle de Briey-en-Foret de 1955 à 1960. Il s'agit d'immenses immeubles-barres de 17 niveaux. La toiture-terrasse est réservée comme espace de jeux pour enfants.

Les plans d'Urbanisme Directeurs (PUD) sont mis au point en 1958. Ils ont la fonction de déterminer les modalités de l'aménagement et de la croissance spatiale des villes.

1.2.5. Le développement de la construction des tours et des règlements d'urbanisme : 1960-1970

C'est principalement à partir de 1960 que l'Etat, à l'aide des municipalités et des promoteurs privés, envisage la construction en hauteur. En effet, durant la période de l'après-guerre, les IGH (immeubles à grande hauteur) se multiplient seulement pendant une quinzaine d'années. A titre d'exemple, un immeuble d'habitation de 22 étages est construit en 1958 dans le 13^{ème} arrondissement de Paris au 33 rue Croulebarbe. Par la suite, la construction d'un certain nombre de gratte-ciels beaucoup plus hauts a pris le relais dans le cadre de la rénovation du quartier Italie. Après ces quelques essais, la construction de tours est adoptée à Paris pour tous les quartiers soumis à la rénovation. Les toitures sont toujours des terrasses. Cette période est caractérisée par la construction des villes de logements dans la banlieue parisienne.

A partir des années 1960 débute une grande époque de rénovation (conservation, restauration, réhabilitations) des quartiers anciens. Ainsi, une politique de conservation des monuments historiques se déploie. A ce propos, le 4 août 1962 apparaît une loi complétant la législation sur la protection du patrimoine historique et esthétique de la France et tendant à faciliter la restauration immobilière. Elle touche certains quartiers qui présentent un caractère historique, esthétique ou de nature à justifier la conservation. Un décret d'application est mis en place l'année suivante pour instituer les « plans Permanents de Sauvegarde et de mise en valeur » qui remplacent dans les périmètres concernés tous les plans d'urbanisme antérieurs.

La délégation à l'Aménagement du Territoire (DATAR) est créée en 1963. Elle a pour objectif de superviser la reconversion des vieilles régions industrielles du Nord et du Nord-est et tente d'instaurer le rééquilibrage de la France vers l'Ouest. De plus, avec l'hyperdensification des centres, une décision est ainsi prise en 1965, visant à créer 9 villes nouvelles. Celles-ci sont appelées à la gestion et fixation de la croissance en perspective. Il s'agit des villes dans la périphérie de Paris : Cergy-Pontoise, Saint-Quentin-en-Yvelines, Evry, Melun-Sénart et Marne-la-vallée les autres sont en province : Le Vaudreuil (entre Paris et Rouen), Villeneuve-d'Ascq (près de Lille), l'Isle-d'Abeau (près de Lyon) et Rives-de-l'Etrang-de-Berre (près de Marseille). Seuls ces neuf centres ont droit à l'appellation de « *ville nouvelle* » et sont gérés par un établissement public.

Le but étant d'éviter la croissance anarchique des grandes agglomérations, les nouveaux habitants sont regroupés dans ces villes. Le plan d'aménagement de ces villes comporte 50% de leur étendue en espaces verts et entourées de zones agricoles protégées il s'agit « *des villes à la campagne* ». L'urbanisme employé est dit « éclaté » c'est-à-dire que ces villes sont constituées de plusieurs petits villages offrant des services élémentaires et d'un centre administratif et commercial.

Le 30 décembre 1967 une nouvelle loi est votée appelée la loi d'Orientation Foncière qui oblige toutes les agglomérations d'au moins 10000 habitants à se doter de deux documents fondamentaux : un Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (SDAU) et un plan d'Occupation des sols (POS). Ces plans définissent la structure relative à chacun des secteurs assurant quatre fonctions clefs : habitat, travail, autocréation (durant les heures libres) et circulation. Un coefficient d'Occupation des sols (COS) est également imposé. Il correspond au rapport entre la superficie de la parcelle et celle des planchers en vue d'édification. Le POS fixe aussi une emprise au sol pour chaque zone et une norme de hauteur maximale pour les constructions.

Le PUD à Paris qui date de 1967 a d'importantes conséquences, comme il relève le plafond de hauteur des immeubles à 37 m en particulier dans le secteur de la rénovation.

Au courant de la même année, la procédure des zones à Urbaniser en Priorité (ZUP) connaît un immense succès. Il est utile de noter que la plupart des ZUP s'élèvent dans des quartiers périphériques, et parfois dans des banlieues lointaines et mal desservies. A cet effet, 177 ZUP sont réalisées et des milliers de petites cités d'HLM (habitation à loyer modéré) sont en même temps construites un peu partout sur le même modèle. La majorité des ZUP comptent plus de 3000 logements. Elles constituent donc d'énormes agglomérats urbains.

En 1968, l'Ecole des beaux-arts considérée comme trop académique a été rejetée et des grandes écoles d'architecture ont été créées en 1969 tels que l'école nationale supérieure d'architecture de Paris-Belleville et l'école nationale supérieure d'architecture de Paris-La Villette. Ainsi, un nouveau décret est apparu : le décret n°78-266 du 8 mars 1978 fixant le régime administratif et financier des unités pédagogiques d'architecture.

1.2.6. L'urbanisme contemporain : 1970-1980

L'année 1974 marque la fin des « trente glorieuses ». Les années 1970 sont caractérisées par l'émergence d'une nouvelle génération des architectes qui ont rompu avec l'Ecole des beaux-arts. La nouvelle tendance est orientée vers une architecture et un urbanisme contemporain qui exprime l'augmentation du désir d'autonomie de chaque foyer grâce à des terrasses.

Entre 1964 et 1975, 54 « Secteurs Sauvegardés¹⁹ » sont créés. Parmi les premières villes à se doter du nouvel instrument, figurent Lyon, Chartres, Saumur, Sarlat, Aix-en-Provence, Paris (le Marais), etc. De nouveaux organismes voient le jour, tels que l'Agence Nationale pour l'Amélioration de l'Habitat (ANAH) fondée en 1971, les offices d'HLM qui commencent à acquérir des immeubles anciens à restaurer à partir de 1972.

Cette période est caractérisée par la multiplication des lotissements encouragée par : l'élévation du niveau de vie, l'abaissement des coûts de construction grâce à l'industrialisation, les facilités de crédit consenties à partir des années 1960. Mais c'est surtout après 1970 qu'il devient possible de jouer sur l'inflation grâce au règlement Chalandon mis en application de 1971 à 1976 et qui rend constructible presque tout le territoire français.

¹⁹ D'après le code d'urbanisme, un secteur sauvegardé est une zone urbaine soumise à des règles particulières en raison de son « caractère historique, esthétique ou de nature à justifier la conservation, la restauration et la mise en valeur de tout ou partie d'un ensemble d'immeubles bâtis ou non ».

Entre 1965 et 1975, une grande concurrence entre les constructeurs a motivé la recherche du plus faible coût, d'où la fabrication au détriment de la qualité des matériaux. Ceci est encouragé en 1969 par le ministre lors du concours de 70000 « chalandonnettes²⁰». Entre 1971 et 1974 plus de 20% des nouveaux bâtiments à usage agricole sont construits dans toute la France avec des matériaux les moins onéreux possibles : parpaings, fibrociment.

En 1976, le rapport Nora²¹ (Rapport sur l'amélioration de l'habitat ancien) préconise la modernisation de l'habitat ancien collectif et sa réintégration dans le marché de l'immobilier. Le fonds d'Aménagement Urbain (FAU), destiné à mener les opérations d'aménagement des centres et quartiers existants est créé en 1976.

En 1976, Valéry Giscard d'Estaing demande l'abandon de la construction des tours et de tous les immeubles d'habitation de hauteur excessive. Le règlement d'urbanisme, limite ainsi les constructions neuves à sept étages. Cette décision peut s'expliquer par l'apparition en 1969 des nouvelles écoles d'architecture qui s'opposent aux constructions des tours. Ce sont ainsi des « nouveaux villages » qui sont construits mêlant maisons individuelles et petits collectifs.

En 1977, la loi sur l'architecture permet de voir la naissance d'organismes départementaux appelés Conseils d'Architecture d'Urbanisme et d'Environnement (CAUE)²². Au cours de la même année, la procédure des Opérations Programmées d'Amélioration de l'Habitat (OPAH) est promulguée. Elle donne aux collectivités locales l'accès à une convention avec l'ANAH. Cette initiative a pour but de restaurer un certain nombre de logements dans un quartier délimité et inciter l'amélioration de la totalité du parc immobilier de la commune.

1.2.7. Mouvement de la valorisation des villes : 1980-Aujourd'hui

Au début des années 1980, l'architecture de la ville était devenue relativement « modeste ». Les tours sont de simples logements autour d'un espace public. Ainsi, l'Etat fait appel à une valorisation des villes nouvelles comme Marne la Vallée et Saint-Quentin en Yvelines. Une incitation des architectes à proposer de nouvelles formes et architectures, en particulier pour les équipements (ex : hôtel de ville, équipement de tourisme) et les bâtiments culturels (ex :

²⁰ Le concours Chalandon est un concours International de la Maison Individuelle lancé par le ministre Albin Chalandon. Il s'agit de la construction de 70 000 pavillons individuels.

²¹ Rapport Nora. Ce rapport critique l'action menée jusqu'alors par les pouvoirs publics. Il propose de donner à l'habitat ancien toute sa place dans la politique du logement et encourage des actions de réhabilitation plus légères. Trois objectifs : préserver le patrimoine, sauver les cœurs de ville, aider les plus défavorisés.

²² Les Conseils d'Architecture, d'Urbanisme et de l'Environnement ont pour vocation la promotion de la qualité architecturale, urbaine et environnementale, ce qui les conduit à exercer quotidiennement les missions suivantes : informer, sensibiliser, les citoyens, les agents et élus des collectivités territoriales sur l'urbanisme et le développement durable ; conseiller les particuliers désireux de construire ou de rénover, les collectivités locales sur leurs projets d'urbanisme, d'architecture; former les maîtres d'ouvrage publics, les professionnels, architectes, artisans, les enseignants sur les constructions, la réglementation, les économies d'énergie...

centre d'archive, médiathèque), en exploitant divers matériaux comme le béton, le métal, le verre, etc. Les grandes villes de province appellent au monumentalisme ou d'amples remaniements de leurs espaces publics. Ainsi, Nantes se dote de son cours des Otages (aménagée dans les années 1930 et 1940), Marseille de son Hôtel du Département (cf. Figure 49) et Strasbourg de son palais de l'Europe (cf. Figure 50).



Figure 49 : Hôtel du Département à Marseille



Figure 50 : Palais de l'Europe à Strasbourg

A partir des années 1990, le concept de bâtiments de haute qualité environnementale HQE fait son apparition. Il s'agit d'une démarche volontaire proposée aux maîtres d'ouvrages permettant d'évaluer les performances du bâtiment. Ce dernier doit être sain et confortable dont les impacts sur l'environnement sont évalués et maîtrisés sur l'ensemble du cycle de vie (HQE association). Dans ce cadre les architectes mènent de nombreuses recherches pour concevoir des édifices remplissant les critères du « développement durable ». Par exemple, une meilleure isolation thermique des bâtiments est assurée en mettant en œuvre le double vitrage.

Pendant les années 2000, la notion de « paysagiste » fait son apparition, elle relève de la conscience plus aigüe des rapports avec la nature. La nature est ainsi disciplinée, intériorisée, fut toujours plus ou moins intégrée dans la ville sous forme de jardins, parcs, promenades, des fontaines... Les toitures végétalisées sont de plus en plus installées et encouragées.

La nouvelle réglementation thermique RT 2012 est considérée par les experts des matériaux de toitures comme un événement déclencheur de changement dans la construction : matériaux, formes, capacité de production de l'énergie, etc. Ainsi, les acteurs de la construction (les maîtres d'ouvrage, les industriels, les architectes...) vont employer de nouveaux moyens, procédures et technologies pour satisfaire cette réglementation.

1.2.8. Synthèse : les grandes périodes du développement du paysage urbain Français

D'après le [Tableau 7](#), l'évolution du paysage urbain Français est très sensible à partir de la révolution industrielle, à la fin du 19^{ème} siècle, avec l'apparition de nouvelles fonctions de bâtiments tels que la maison individuelle entourée d'un jardin, l'immeuble, l'école, l'usine, etc. A partir des années 1920, une nouvelle organisation des villes apparaît en séparant les zones industrielles de la banlieue. Pendant cette époque les toitures-terrasses font leur apparition encouragées par le Corbusier. Ainsi, les grandes tours de logement, dotées de terrasse, se multiplient au sein des villes de la banlieue. Ce paysage des logements dans des grands immeubles, a pris plus son poids avec la décision de 1965 visant à créer 9 villes nouvelles. Ce paysage continue à se développer jusqu'à la fin des années 1970. A partir des années 1980, un rejet de cette architecture en tours a été affirmé par une nouvelle architecture basée sur la valorisation de la ville avec l'intégration des équipements dans la ville doté de nouvelles formes de bâtiments plus valorisante avec des matériaux esthétiques. Enfin, à partir des années 2000, de nouvelles approches environnementales font leurs apparitions telles que les bâtiments HQE, la notion de ville durable, etc. L'urbanisme de la ville vise, de plus en plus, à préserver et respecter l'environnement.

Tableau 7 : Tableau chronologique de l'évolution du paysage urbain français à partir du 19^{ème} siècle

La révolution industrielle 1850-1900	Les nouvelles formes de logements 1900-1920	L'apparition de la toiture-terrasse et réorganisation des 1920-1940	L'instrumentation de l'urbanisme 1940-1960	Le développement de la construction des tours et des règlements d'urbanisme 1960-1980	Mouvement de la valorisation des villes 1980- Aujourd'hui
<p>1850 : Utilisation du métal favorisée dans les nouveaux de bâtiments, notamment les charpentes et les planchers.</p> <p>1867 : Invention du béton armée</p> <p>1890 : Le métal est franchement exprimé dans les usines, certains magasins, certains bâtiments administratifs ou des immeubles industriels.</p> <p>1892 : Premier immeuble en béton armé bâti à Paris</p> <p>1894 : Promulgation de la loi de Siegfried et Apparition des habitations à bon marché (HBM)</p>	<p>1912 : Apparition des HBM</p> <p>1913 : une nouvelle loi dote les édifices classés d'une protection absolue et les édifices inscrits à l'inventaire supplémentaire d'une protection plus légère.</p>	<p>1920 -1939 : Nouvelle organisation des Zones exclusivement industrielles à côté des banlieues industrielles.</p> <p>1925 : - Les toitures-terrasses inspirées par le Corbusier font leurs apparitions</p> <p>- Projet du Plan voisin</p> <p>1930 : Une loi mise en place de classement des sites urbains ou ruraux ainsi que des monuments naturels et de sites protégés.</p> <p>1938 : Construction de cinq tours de 16 étages à Drancy.</p> <p>1936 : Institution des congés payés généralisés. Et apparition des stations balnéaires de type familial sur les côtes de la Manche et de l'Atlantique.</p> <p>1948 : Le premier gratte-ciel (90m) construit en France voit le jour à Amiens.</p>	<p>1940-1944 : La première reconstruction des villes</p> <p>1943 : Une nouvelle loi institue un périmètre de protection d'un rayon de 500m autour des monuments historiques</p> <p>1945 :</p> <p>- La deuxième reconstruction et le début des « trente glorieuses »</p> <p>- Création du Ministère de la Reconstruction et de l'Urbanisme.</p> <p>- Les principes d'urbanisme après l'année 1945 sont inspirés par Tony Garnier le fondateur de l'urbanisme progressiste.</p> <p>1952 : Apparition d'immenses immeubles-barres de 17 niveaux. Le toit-terrasse est réservé pour espace aux jeux des enfants.</p> <p>1958 : Mise au point des plans d'Urbanisme Directeurs (PUD)</p> <p>1960 :</p> <p>- Création de l'Institut d'aménagement et d'urbanisme de la Région parisienne (IAURP), qui deviendra l'IAURIF en 1976 et l'IAU IDF en 2009.</p> <p>- Elaboration du PADOG, ou Plan d'Aménagement et D'Organisation Générale de la Région Parisienne, prescrit par le Général de Gaulle.</p>	<p>1962 : Loi du 4 août 1962 complétant la législation sur la protection du patrimoine historique et esthétique de la France et tendant à faciliter la restauration immobilière.</p> <p>1963 :</p> <p>- Un décret d'application est mis en place pour instituer les « plans Permanents de Sauvegarde et de mise en valeur » qui remplacent dans les périmètres concernés tous les plans d'urbanisme antérieurs.</p> <p>- Création de la délégation à l'Aménagement du Territoire (DATAR) pour superviser la reconversion des vieilles régions industrielles du Nord et du Nord-est.</p> <p>1964 : Création des huit métropoles d'équilibre</p> <p>1965 : Elaboration du Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région de Paris (SDAURP) qui prévoit la création de 9 villes nouvelles pour gérer et fixer la croissance.</p> <p>1965-1975 : Une grande concurrence entre les constructeurs a motivé la recherche du plus faible coût, d'où la fabrication au détriment de la qualité des matériaux. Ceci a été encouragé en 1969 par le ministre lors du concours de 70000 « chalandonnettes ».</p> <p>1967 : - Loi d'Orientation Foncière est votée le 30 de décembre 1967 obligeant toutes les agglomérations d'au moins 10000 habitants à se doter de deux documents fondamentaux : un Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (SDAU) et un plan d'Occupation des sols (POS). Un coefficient d'Occupation des sols (COS) est également imposé.</p> <p>- Une procédure des zones à Urbaniser en Priorité (ZUP) connaît un immense succès. 177 ZUP sont réalisées dans des quartiers périphériques, et parfois dans des banlieues lointaines et mal desservies.</p> <p>1968 : rejet de l'Ecole des beaux-arts considérée comme trop académique</p> <p>1969 : création des grandes écoles d'architecture tels que l'école nationale supérieure d'architecture de Paris-Belleville et l'école nationale supérieure d'architecture de Paris-La Villette.</p> <p>1971 : Fondation de l'Agence Nationale pour l'Amélioration de l'Habitat (ANAH)</p> <p>1972 :</p> <p>- Les offices d'HLM commencent à acquérir des immeubles anciens à restaurer</p> <p>- Démolition des derniers bidonvilles de Nanterre</p> <p>1973 : Inauguration de la tour Montparnasse</p> <p>1974 : fin des « trente glorieuses »</p> <p>1971-1976 : Mise en application du règlement Chalandon qui rend constructible presque tout le territoire français. 1975 : Rapport Nora préconise la modernisation de l'habitat ancien collectif et sa réintégration dans le marché de l'immobilier.</p> <p>1976 :</p> <p>- Approbation du Schéma Directeur de la Région d'Île-de-France (SDRIF)</p> <p>- Création des fonds d'Aménagement Urbain (FAU) chargé de mener les opérations d'aménagement des centres et quartiers existants</p> <p>La loi de 1976 s'est vue complétée par la possibilité de créer des zones d'Environnement protégé (ZEP).</p> <p>- La loi de 1976 relative à la protection de la nature, rend désormais obligatoire la réalisation d'une étude ou d'une notice d'impact pour tout l'ouvrage conséquent, qu'il soit visible ou non dans le paysage.</p> <p>- Valéry Giscard d'Estaing demande l'abandon de la construction des tours et de tous les immeubles d'habitation de hauteur excessive pour lutter contre l'enlaidissement de la France.</p> <p>1977 : - Naissance des organismes départementaux appelés Conseils d'Architecture d'Urbanisme et d'Environnement (CAUE)</p> <p>- Promulgation de la procédure des Opérations programmées d'amélioration de l'habitat (OPAH)</p> <p>- Le POS de Paris est approuvé</p> <p>1978 : apparition du décret n°78-266 du 8 mars fixant le régime administratif et financier des unités pédagogiques d'architecture.</p> <p>1979 : Création de la Fédération nationale des agences d'urbanisme (FNAU)</p>	<p>1980 :</p> <p>- Rejet de l'architecture des villes de logement</p> <p>- Une nouvelle recherche de valorisation des villes par le monumentalismes.</p> <p>1990 : Apparition du concept de bâtiments HQE</p> <p>1994 : Approbation par décret du Schéma Directeur de la Région d'Île-de-France (SDRIF)</p> <p>1996 : Création de l'association HQE</p> <p>2000 : Apparition de la notion de paysagiste une intégration plus marquée de la nature dans la ville</p> <p>2003 : L'Agence nationale pour la rénovation urbaine (ANRU) voit le jour</p> <p>2004 : Mise en place de la certification « NF ouvrages-Démarches HQE » par l'association HQE</p> <p>2012 : Apparition de la RT 2012</p>

2. Histoire des matériaux de couverture

Jusqu'au milieu du 19^{ème} siècle, la majorité des constructions sont réalisées selon les traditions régionales avec des matériaux disponibles localement (Wignacourt, 2009). Au début du 20^{ème} siècle, la tendance est au matériau universel, capable de couvrir tous les types de toits (ex : la tuile mécanique comme un modèle standard suffisamment efficace, avec un réseau de distribution bien ramifié, pouvait s'approprier une grande partie du marché).

Aujourd'hui, à cause du développement des technologies de construction et de fabrication, les matériaux de couverture industriels se sont énormément diversifiés. Cette variété se retrouve à l'échelle d'une agglomération actuelle où avoisinent une grande quantité de matériaux différents dont l'unité est difficile à retrouver, si ce n'est dans les formes traditionnelles du passé ou dans les couleurs, parfois, grâce aux réglementations pour la protection des sites (AOCDF, 1989).

A l'heure actuelle, au niveau du patrimoine bâti, des couvertures nouvelles sont construites, tandis que d'autres, anciennes, disparaissent ou bien d'autres encore, moins anciennes, sont refaites avec le même matériau ou avec des matériaux de remplacement. Pour comprendre ce paysage évolutif, nous allons étudier l'évolution de chaque matériau au cours du temps (apparition, disparition...). Nous allons commencer par étudier les matériaux de rampant pour les toitures inclinées suivi d'une analyse de l'histoire des matériaux des toitures-terrasses pour finir par les matériaux des autres éléments de toitures (gouttières, noue, descente, etc.). Enfin, un tableau chronologique de l'évolution des matériaux de toiture est dressé.

2.1. Les matériaux de rampants des toitures inclinées

2.1.1. Le chaume

Le chaume est le plus ancien matériau utilisé en toiture (cf. Figure 51). Dans toutes les régions de France, les chaumières sont construites vu qu'à l'origine la paille de seigle ou la paille de blé est facilement accessible (Rodighiero, 1960). L'emploi de la paille de seigle et la paille de blé sont abandonnées au profit du roseau. L'usage du chaume en toiture se voit restreint en milieu campagnard, sous l'effet de l'industrialisation de la tuile et l'ardoise (Rodighiero, 1960). Aujourd'hui, la toiture en chaume n'existe plus dans les villes (entretien avec A. Texier).



Figure 51 : Toiture en chaume

2.1.2. Le bois

L'usage du bois en toiture est aussi ancien que celui du chaume (cf. Figure 52). Ces deux matériaux ont par ailleurs en commun le défaut d'être facilement inflammables. Jusqu'au 13^{ème} siècle l'emploi du bois dans la couverture, comme c'est le cas pour le chaume, ne connaît pas de concurrence autre que celle de la tuile. Mais, comme le bois a alors un coût moindre à celui du chaume et la tuile, il a été privilégié pendant les périodes de misère agricole du 14^{ème} siècle (ce siècle est marqué en France par un refroidissement du climat estimé à 1 °C) (Lebouteux, 2007). Au cours du 19^{ème} siècle, l'utilisation du bois est largement répandue le long de la côte Atlantique. Cependant, c'est principalement dans la montagne et dans les régions à climat rude, que ce type de couverture est très employé.

La mise en œuvre d'une toiture nécessite une main-d'œuvre spécialisée (Govin, 2004). Ceci explique en partie son coût élevé jusqu'au 19^{ème} siècle, et qui reste d'ailleurs très supérieur à celui de la tuile ou de l'ardoise jusqu'aujourd'hui.



Figure 52 : Toiture en bois

La couverture en bois se voit subir des traitements chimiques dans le but de réduire le gonflement du bois et garantir la stabilité des panneaux. Parmi ces composants il existe : l'oxyde de butylène et de propylène, l'anhydride acétique, les formaldéhydes, les acrylonitriles, les époxy (Govin, 2004). Les tuiles de bois peuvent avoir une durée de vie variant de 30 à 120 ans (Viollet-le-Duc, 1856).

Le bois est revêtu par la peinture à base de plomb, ce contact crée un nouveau composé appelé le blanc de céruse (Viollet-le-Duc, 1856). Ce composé provoque le percement du bois,

mais il est également considéré comme un composant polluant et toxique (Viollet-le-Duc, 1856). C'est pourquoi une réglementation s'est déployée en 1993 pour interdire l'utilisation du plomb dans la peinture²³.

2.1.3. L'ardoise

Les premiers usages de *l'ardoise naturelle* en toiture remontent au 12^{ème} siècle (cf. Figure 11). Au 14^{ème} siècle, elle se répand en Ile-de-France. L'emploi de l'ardoise en couverture se développe fortement au cours du 16^{ème} siècle avec une part de marché qui n'a cessé d'augmenter. A partir du 19^{ème} siècle et grâce à la contribution apportée par le développement des moyens de transport et surtout du chemin de fer, l'ardoise devient de plus en plus accessible et remplace progressivement le chaume. Au cours de la période 1815-1914, elle a connu également une remarquable croissance de sa courbe de vente aux dépens de la tuile plate (Bernandi, 2011 ; Magne et Somme, 1954). A la fin du 20^{ème} siècle, les ardoises naturelles ont quasiment laissé la place à celles en fibre-ciment. D'après les experts de la couverture, *l'ardoise en fibres ciment* est apparue sur le marché de couverture à partir des années 1950 (cf. Figure 12). Les fibres en amiante sont remplacés ultérieurement par les fibres organiques suite à l'interdiction de l'amiante en 1997 (Bernstein *et al.*, 1997).

2.1.4. L'amiante-ciment

L'amiante-ciment ou fibrociment est inventé en 1901. C'est le produit à base d'amiante le plus utilisé dans le BTP (Bâtiments et Travaux Publics) à cause de son faible coût de production (5 fois inférieur à celui des fibres minérales artificielles). Il sert principalement pour la fabrication de plaques de papier ou carton employé pour les faux plafonds, plaque d'isolation ou joints d'étanchéité. En couverture, l'amiante a été utilisée, jusqu'à son interdiction, sous forme d'ardoises ou de plaques en fibres ciments (Bernstein *et al.*, 1997).

L'amiante a été fortement utilisée durant la période de reconstruction après la seconde guerre mondiale. En particulier, entre 1973 et 1975 où environ 150.000 tonnes d'amiante par an ont été utilisés en France²⁴. Fin 1996, l'emploi de l'amiante est définitivement interdit par décret à cause de ses effets cancérigènes²⁵. Pourtant, jusqu'aujourd'hui encore, il existe plusieurs

²³ Il s'agit de l'arrêté du 1^{er} février 1993 relatif à l'interdiction de la peinture à la céruse aux non professionnels (propriétaires, locataires).

²⁴ <http://www.exim-expertises.fr/diagnostic-amiante-a4> (consulté le 10/02/2014)

²⁵ Décret n° 96-1133 du 24 décembre 1996 (JO du 26 décembre 1996) modifié par les décrets nos 2001-1316 du 27 décembre 2001 (JO du 29 décembre 2001) et 2002-1528 du 24 décembre 2002 (JO du 28 décembre 2002).

centaines de milliers d'ouvrages à base d'amiante. Ceux-ci représentent des risques de mortalité à des taux très élevés pour les populations qui y sont exposées²⁶.

2.1.5. La tuile

Les premiers usages de la *tuile en terre cuite* remontent loin dans l'histoire, sa fabrication débute vers 2700 avant J-C. Vers le 6^{ème} siècle, la tuile plate fait son apparition grâce au développement des techniques de charpente en bois ce qui entraîne l'innovation des toits plus pentus ([Techniques de l'ingénieur, 2013a](#)). L'essor de l'utilisation de la tuile en terre cuite en ville remonte au 12^{ème} siècle. En effet, les tuiles permettent de construire des toits à fortes pentes répondant aux exigences de l'aménagement des combles des habitations à plusieurs niveaux. A cette époque ce type de construction s'impose par souci de réduire les coûts du foncier dans les zones urbanisées. Entre le 18^{ème} et le 19^{ème} siècle et grâce au développement du transport ferroviaire, l'usage de la tuile en terre cuite s'étend à toute la France ([Techniques de l'ingénieur, 2013a](#)).

Il existe différentes finitions qui peuvent être utilisées pour une tuile en terre cuite : l'engobage, l'émaillage et le siliconage (cf. [Figure 10](#)). L'engobage et l'émaillage sont des techniques millénaires qui revêtent l'avantage d'être non seulement très esthétique, mais en même temps capables de protéger les tuiles de toutes sortes d'agressions ([Techniques de l'ingénieur, 2013a](#)). La technique de siliconage des tuiles apparaît dans les années 1950 : elle permet d'augmenter l'étanchéité de la tuile ([Lyonnet, 2004a](#) ; [Lyonnet, 2004b](#)).

Au début du 20^{ème} siècle, une nouvelle variété de tuile moins chère fait son apparition en Europe pour remplacer les tuiles en terre cuite traditionnelles : la *tuile béton*. Cette invention est née une fois que le ciment de Portland est devenu commercialement disponible²⁷. Précisément en 1919, la tuile béton fait sa première apparition en Angleterre. Plus tard en France, vers 1960, la tuile béton devient la nouvelle référence en matière de couverture moderne ([AOCDF, 1989](#)). Les progrès techniques ont permis l'innovation d'une gamme de coloris variée. Certaines d'entre elles rappellent des teintes naturelles, telles que l'ardoise et la lauze. Il existe différents procédés de coloration de surface qui peuvent varier d'une simple teinture sur toute la surface du matériau, au revêtement de sa surface par une fine couche de ciment coloré ([AOCDF, 1989](#)). Enfin, les tuiles en béton peuvent être également

²⁶ L'inhalation représente la voie principale de contamination par l'amiante, ou les fibres ayant pénétrées les voies respiratoires provoquant ainsi de graves pathologies pulmonaires.

²⁷ Le ciment de Portland breveté en 1824 pour Joseph Aspdin, sa commercialisation devient de plus en plus disponible suite au développement du four rotatif en 1902. Ainsi, les usines du ciment deviennent de plus en plus de performantes et productrices.

catégorisées suivant la variété de leurs formes. Ainsi, elles sont divisées en plusieurs groupes: tuiles rondes, tuiles plates, tuiles pannes ou tuiles à emboîtement (cf. Figure 7) (Ramani et Whittier, 2012).

2.1.6. Le Plomb

L'usage du plomb remonte à l'antiquité. Il est après le fer le métal, le plus employé sur les chantiers médiévaux. L'avantage du plomb est sa grande malléabilité : il se prête à toutes sortes de formes et plus particulièrement aux formes à double courbures tels que les coupoles et les dômes (cf. Figure 53). Il a été très utilisé au moyen-âge surtout pour les couvertures des cathédrales et des palais (Lebouteux, 2000; Lebouteux, 2007).

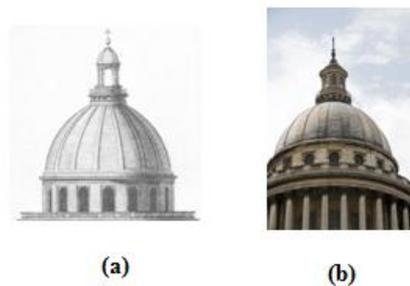


Figure 53 : (a) Plan de la coupole du Panthéon au 17^{ème} siècle; (b) Coupole du Panthéon vue d'aujourd'hui

Le plomb a évolué au cours du temps sous forme de différentes variétés :

- *Le plomb coulé sur le sable* : La première méthode de fabrication du plomb est le coulage sur sable. Cette fabrication avait l'avantage de laisser au métal toute sa pureté. En revanche, l'épaisseur n'était pas parfaitement homogène. Par conséquent, la dilatation agit aussi de façon inégale (Viollet-le-Duc, 1856). Au moyen âge le plomb est employé surtout dans les grandes églises et les résidences royales ou princières. Ainsi, le plomb est considéré comme signe de luxe (Viollet-le-Duc, 1856). En France la renaissance représente l'âge d'or du plomb entre décors et sculptures sur les toitures. Il accompagne ainsi la couverture d'ardoise des édifices importants en faitage, arêtières, lucarnes, chéneaux... mais à la fin du 19^{ème} siècle, le plomb coulé sur le sable disparaît en France en laissant la place au plomb laminé (Lebouteux, 2007).

- *Le plomb étamé* : Au 18^{ème} siècle une nouvelle technique apparaît : elle consiste à « blanchir le plomb ». Le plomb reçoit un revêtement d'étain dans le but de lui donner un aspect plus esthétique. Ce procédé est répandu pour les éléments en plomb apparents tels que les descentes des eaux pluviales et les décors des toitures jusqu'à la fin du 18^{ème} siècle. Le plomb

peut être doré ou peint et notamment découpé en toutes sortes de formes, vu qu'il se soude facilement soit sans apport soit par ajout de l'étain (Benoit, 2000).

- *Le plomb laminé* : En 1727, le premier laminoir s'installe à Paris. Le plomb est ainsi fabriqué sous forme de planches régulières s'adaptant bien à la sculpture et la mise en forme des moulures. Malgré l'essor du laminage, le plomb coulé sur sable est employé au début du 19^{ème} siècle pour refaire la couverture du dôme des invalides en 1869 (cf. Figure 54) comme c'est le cas pour la plupart des restaurations de l'époque (Belhoste, 2001).

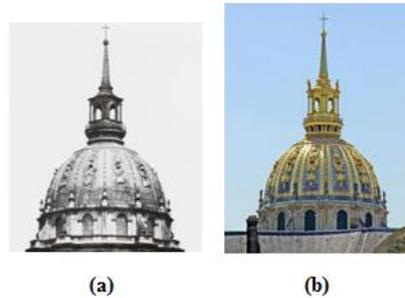


Figure 54 : (a) Dôme des invalides 1851-1870; (b) Dôme des invalides aujourd'hui

Avec la révolution industrielle du 19^{ème} siècle, le progrès de la métallurgie a provoqué l'effacement du plomb laminé devant le cuivre et le zinc. Son utilisation devient limitée à la restauration des monuments historiques avant d'être écarté (Lebouteux, 2000). Aujourd'hui, c'est le plomb laminé qui est utilisé surtout pour les éléments de toiture (faitage, étanchéité fenêtre...).

- *Le plomb pur* : En janvier 1982, une norme française A 55-401 est mise en place imposant au plomb une pureté de 99,9% (Lebouteux, 2007).

- *Le plomb recyclé* : Aujourd'hui, dans une approche environnementale les industries de plomb récupèrent le plomb usagé pour le recycler et le réutiliser de nouveau.

2.1.7. Le cuivre

L'usage du cuivre remonte à l'antiquité depuis les Grecs, les Romains et les Chinois. Utilisé sous forme de tôles, ce métal se trouve à l'état impur. Ainsi, au 16^{ème} siècle des traitements oxydo-réducteurs ont été effectués pour éliminer les impuretés donnant naissance au *cuivre rouge* ou encore contenant 0,1% d'étain (Sn). Ce produit est utilisé jusqu'à la fin du 18^{ème} siècle (Texier et Costa, 2009). Il est important de noter à ce propos que le terme bronze est employé quand le cuivre est allié avec l'étain. Au Moyen Age, le cuivre disparaît de la construction en France en raison de l'épuisement des minerais très riches en cuivre. De plus,

le plomb étant un métal plus souple, est préféré au cuivre (Lebouteux, 2000). Entre 1600 et 1750, en France les toitures en cuivre refont leur apparition grâce à des accords politiques et commerciaux conclus avec la Suède. En effet, la mine de Stockholm est le principal fournisseur de cuivre pour l'Europe. Ainsi, en 1687, c'est du cuivre de Suède qui est employé pour la couverture de l'aile droite du château de Versailles (Texier et Costa, 2009) (cf. Figure 55).



Figure 55 : Aile du midi château de Versailles

Avec la révolution industrielle, le laminage du cuivre permet son utilisation comme matériau de toiture pour des bâtiments publics et quelques habitations de particuliers. En même temps, il est de plus en plus employé pour des éléments de décorations de toiture comme les statues, les ornements et les accessoires pour les bâtiments civils et religieux. A partir de 1881, le cuivre obtenu est suffisamment pauvre en éléments résiduels pour être considéré comme *pur* (Belhoste, 2001).

Dans les années 1940, les Américains lancent le *cuivre riche en arsenic* (à 0,5 %) pour la toiture et ses éléments. Ce matériau avait été initialement produit en 1920 pour la fabrication de chaudières de locomotives, à cause de sa résistance à la corrosion par les gaz chauds.

Le progrès dans la fabrication du cuivre continue pour aboutir à un cuivre exempt d'oxygène, appelé couramment en France cuivre Cu-b ou Cu-DHP, et qui contient aujourd'hui environ 0,3 ‰ de phosphore résiduel et peu d'impuretés. Le cuivre, de très haute pureté est employé en 1945 pour la couverture de l'église Sainte-Jeanne-de-Chantal, à Paris (cf. Figure 56).



Figure 56 : Église Sainte-Jeanne-de-Chantal (Paris)

L'année 1987 marque le développement d'une grande production du cuivre pour la toiture en France. Cet événement est la conséquence de la fusion de la société industrielle française de métallurgie (Tréfinmétaux) et la société métallurgique italienne KME Group (Texier et Costa, 2009).

Aujourd'hui, la quantité d'impuretés dans le cuivre est limitée (cuivre, cadmium, antimoine, bismuth, argent, étain et zinc). Elle répond à la norme NF EN 504 / 506 (AFNOR, 2007a). Le *cuivre allié* répond à la norme NF EN 1172 (AFNOR, 1996b). L'alliage employé en toiture contient du phosphore et parfois du zinc (Welter, 2007). La diminution de la consommation du cuivre en 2006 est liée à l'augmentation très élevée du coût des métaux (Texier et Costa, 2009).

2.1.8. Le zinc

En 1810, la première feuille de zinc sur un laminoir à acier est fabriquée. Dès l'année suivante, la première couverture en zinc laminé est réalisée pour une église en Belgique (Smits, 1927). Entre 1810 et 1850, le zinc fait son apparition en France sur des bâtiments industriels ou artisanaux. En effet, le zinc est considéré comme un matériau non prestigieux par rapport au plomb. Il a subi, ainsi, des traitements pour le noircir et lui donner l'aspect le plus sombre possible afin d'avoir un aspect proche de celui du plomb (Smits, 1927).

En 1837, la société Vieille-Montagne des mines et fonderie de zinc est fondée en France. C'est la plus grande société de production du zinc extrait d'une mine au sud de la France. Cette société partage le marché du zinc avec la société la Compagnie royale asturienne des Mines fondée en 1853 par des Belges (qui avait une mine au nord de la France). Ces deux sociétés finissent par fusionner en 1987 en conservant le nom la Vieille-Montagne. Cette dernière fusionne à son tour avec des groupes belges ce qui donne le groupe Umicore en 2001 (entretien avec M. Bissery, VMZINC).

Le zinc présente plusieurs domaines d'applications telles que les fusibles, l'imprimerie et la production de l'acier galvanisé. Aujourd'hui, le zinc laminé est utilisé dans l'enveloppe du bâtiment mais aussi dans les funéraires en Italie et en Espagne (entretien avec M. Bissery).

L'utilisation du zinc dans le bâtiment se développe très sensiblement au cours de la période 1840-1870 qui correspond à la reconstruction de Paris sous la conduite du Baron Haussmann. A cette époque le zinc couvre 3/5 des nouvelles couvertures parisiennes (Smits, 1927). En effet, le zinc laminé présente de nouvelles caractéristiques correspondant aux attentes des constructeurs de l'époque. Il s'agit d'optimiser au maximum les espaces au sein du bâtiment et notamment les combles en abaissant les pentes des couvertures, les toitures sont ainsi en Mansart (Smits, 1927) (cf. Figure 57). Or, la réalisation des couvertures de faibles pentes avec les matériaux traditionnels (tuile, ardoise) pose des problèmes d'étanchéité. Donc, le zinc laminé s'est trouvé le matériau qui permettait de répondre à ces attentes (entretien avec M. Bissery) :

- il permet la réalisation des couvertures à faibles pentes de 5% ;
- le zinc est léger et permet d'alléger les charpentes donc il est économique ;
- le zinc est durable, facile à utiliser et à transformer.

Cette période est caractérisée par une forte accélération de l'utilisation du zinc laminé. Ainsi, le règlement d'urbanisme de la ville de Paris de 1884²⁸ modifié en 1902²⁹ détermine des gabarits-type pour la construction des immeubles et le développement des charpentes. En effet, les combles deviennent de plus en plus hauts avec un abaissement des pentes. Ceci a été suivi d'une validation des principes des couvertures dites à tasseaux (Smits, 1927) (cf. Figure 58).

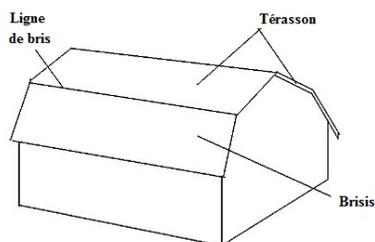


Figure 57 : Toiture en Mansart



Figure 58 : Couverture en zinc à tasseaux

²⁸ Ce règlement résulte d'un décret promulgué le 23 juillet 1884. L'un de ses principaux promoteurs est Jean-Charles Alphand, l'un des anciens collaborateurs d'Haussmann. Il fait suite au décret du 22 juillet 1882.

²⁹ Le règlement de voirie sur les hauteurs et saillies dans la Ville de Paris est promulgué dans un décret du 13 août 1902. Son principal auteur est Louis Bonnier, architecte-voyer de la Ville de Paris.

Au début, la production du zinc est basée sur un processus de raffinage du zinc pur issu des minerais par voie thermique. Les procédés métallurgiques se sont améliorés au fil du temps. D'une manière générale, le zinc laminé est quasiment pur. La pureté dépend de la capacité technologique à raffiner le zinc. Suite au saut technologique, vers la moitié du 20^{ème} siècle, le raffinage du zinc est transformé du thermique à l'électrolytique³⁰. Aujourd'hui, le zinc est raffiné à 99,995% (entretien avec M. Bissery) décrit par la norme NF EN 1179 Septembre 2003.

Le zinc présente l'inconvénient d'être mou. Ainsi, les industriels rajoutent des additifs pour améliorer les propriétés mécaniques du zinc en permettant par exemple une meilleure résistance au fluage. En 1930, le premier alliage zinc/ cadmium a été breveté³¹. Néanmoins, à cause de ses effets toxiques le cadmium est interdit et ainsi la première norme EN 988 qui décrit la composition du zinc est apparue en 1983 sous le nom NF A55-201 (1983-06-01). L'alliage du zinc normalisé contient du cuivre et du titane (Zn-Cu-Ti).

Les industriels du zinc continuent leur recherche de nouveautés dans le domaine du zinc. Ainsi, en 1978 le *zinc prépatiné* est apparu pour la première fois par VMZINC³². Cette patine protectrice grise est un traitement chimique par phosphatation. Sa protection est assurée par un recouvrement sur les deux faces d'une résine organique mince (site VMZINC). Le zinc prépatiné est associé avec les toitures en ardoise et en lauze, il est utilisé notamment pour les accessoires d'évacuation des eaux. En 1990, le *zinc bilaqué* est apparu par une production de VMZINC. En 2005, le premier *zinc coloré en masse* est produit par VMZINC sous la marque PIGMENTO avec 3 teintes : rouge terre, vert lichen, bleu cendre. En 2012 une nouvelle couleur de zinc coloré apparaît brun écorce (site VMZINC).

2.1.9. L'acier

La découverte du matériau de la tôle étamée ou encore *le fer-blanc* remonte loin dans l'histoire. Ainsi, les Athéniens posent de l'étain sur du fer chauffé (Lebouteux, 2007). A partir du milieu du 17^{ème} et jusqu'au 19^{ème} siècle, l'Angleterre devient le leader dans la fabrication du fer-blanc dont l'exportation atteint le monde entier (Mignery, 2000). En 1500, en France la

³⁰ L'électrolyse est une méthode qui permet de réaliser des réactions chimiques grâce à une activation électrique. Il s'agit de conversion de l'énergie électrique en énergie chimique permettant de séparer les éléments d'un composé chimique.

³¹ http://www.silvaloy.com/fr/cadmium_fr.php

³² Société des Mines et Fonderies de Zinc de la Vieille-Montagne

production du fer-blanc apparaît dans la région Franche-Comté³³. Les toitures en fer-blanc sont une spécificité exclusive de cette région (Froidevaux, 2000). C'est qu'à partir du 18^{ème} siècle et jusqu'au début du 20^{ème} siècle que l'utilisation du fer-blanc se répand en France. Ce matériau a l'avantage d'être solide, incassable, léger et économique (Froidevaux, 2000). Au 19^{ème} siècle, en Savoie, le fer-blanc est utilisé en France en clochers à bulbes. Seulement, il ne résiste pas à l'oxydation, la tôle étamée a besoin donc d'une couche de peinture à l'huile pour être résistante à l'action de l'air (Lebouteux, 2007). Au 19^{ème} et au début du 20^{ème} siècle, le fer-blanc brillant est utilisé comme élément de couverture, alors que le terne est employé dans les gouttières ou les descentes d'eaux pluviales. L'emploi du fer-blanc disparaît au cours du 19^{ème} et il est remplacé ultérieurement par la tôle galvanisée (Mignery, 2000). Pour la restauration des constructions anciennes en fer-blanc, un matériau moderne proche du fer-blanc est produit : de l'acier étamé industriellement (par électrolyse) avec l'étain blanc ou un plomb étain ou encore un cuivre étamé (Pennec, 2000).

Avec la révolution industrielle et précisément en 1865, la production industrielle du fer se développe fortement en Europe. En 1910, la France devient le quatrième pays extracteur (bassin de Lorraine) et producteur de fer au monde (Hartmann, 1914).

L'acier se présente sous forme de différentes variétés :

-L'acier inoxydable

L'année 1913 marque le développement industriel de l'*acier inoxydable* en France. Cependant, c'est à partir des années 1950 qu'il est employé dans la couverture (Invernizzi, 2000). Différents produits de l'acier inoxydable sont mis sur le marché au fil du temps. En 1936, le premier acier inoxydable duplex apparaît en France pour résister contre la corrosion causée par la présence de chlore. Cependant, cet acier très riche en ferrite, a une résistance à la corrosion faible ce qui conduit en 1968 à l'affinage de l'acier inoxydable en rajoutant de l'azote comme élément d'alliage. C'est la naissance de « l'acier inoxydable duplex de seconde génération » (Stainless and Pittsburgh, 2011).

Les premières méthodes de coloration de l'acier inoxydable sont introduites dans les années 1970, et les éléments ainsi traités se révèlent très durables (Nickel, 2012).

En 1971, le soudage de l'acier inoxydable par un alliage à l'étain plomb (50% à 60% d'étain) devient recommandé (Rodighiero, 1960; Invernizzi, 2000). En 1990, le revêtement en plomb/étain enrichi à 7 % de molybdène est commercialisé (Nickel, 2012). Ensuite, un

³³ La Franche-Comté est une région culturelle, historique et administrative française qui regroupe quatre départements : le Doubs, le Jura, la Haute-Saône et le Territoire de Belfort.

revêtement tout étain est appliqué selon la norme A.36.332 en Août 1994 (Nickel, 2012 ; Invernizzi, 2000). En 1995, les aciers ferrite UGINOX FTE (avec Titane) et austénitique UGINOX AME (avec molybdène) apparaissent.

-L'acier galvanisé

La tôle galvanisée laminée est employée en toiture à partir de 1840. Mais elle se développe au début du 20^{ème} siècle avec la grande production des aciers laminés. En 1853 à Paris, un nouveau système de couverture en tôle ondulée ou nervurée est mis en œuvre. Cette forme permet de garantir simultanément la rigidité et la légèreté de l'acier galvanisé. Dès lors, la tôle ondulée devient le produit le plus employé dans la construction de nos jours et dans le monde entier. Ceci s'explique par ses caractéristiques de légèreté, facilité d'élaboration et de transport, et même par son prix pas cher permettant son usage même dans les bidonvilles (Lamesch, 2004).

Vers la fin du 19^{ème} siècle, la méthode de galvanisation de la tôle par précipitation électrolytique du zinc sur le fer apparaît. Ce procédé permet d'affiner la couche de zinc qui joue un rôle de barrière efficace en excluant l'oxygène et les moisissures³⁴. Les processus de galvanisation évoluent au fil du temps. Ainsi, la galvanisation à chaud et à froid se développe entre les deux guerres mondiales (1920-1939). La galvanisation à chaud est un procédé de recouvrement par immersion dans un bain de zinc fondu ou par électrolyse³⁵. Tandis que la galvanisation à froid (la galvanoplastie) est le dépôt d'un enduit de zinc³⁶. Ces deux méthodes de galvanisation conduisent en 1934 à une production massive de l'acier galvanisé (Lamesch, 2004). A partir des années 1950, un nouveau revêtement métallique innovateur est utilisé. Il s'agit d'un revêtement à base de zinc avec des ajouts de magnésium (Mg) et d'aluminium (Al). Ce nouveau matériau présente une excellente protection anticorrosion, et contribue à la préservation de l'environnement grâce à une épaisseur de couche de zinc réduite (ECCA, 2012). L'aluzinc et le galvan sont produits depuis 1981 par une filiale d'Arcelor.

-Acier laqué

La technique de laquage de l'acier apparaît pendant la deuxième guerre mondiale. En effet, sous l'effet des destructions causées par la première guerre, en 1940 les britanniques s'attachent alors à reconstruire au plus vite les édifices touchés en les recouvrant de tôle

³⁴ <http://www.ssab.com/fr/Brands/Prelaq/Produits1/What-is-Prelaq/Brief-history-of-sheet-steel/>

³⁵ L'électrolyse est effectuée en faisant passer un courant électrique entre deux électrodes dans la solution de sulfate de zinc obtenue à l'issue d'un traitement thermo-chimique.

³⁶ La galvanoplastie est le dépôt d'un enduit métallique sur un objet par l'application d'une charge négative sur celui-ci et en l'immergeant dans une solution contenant un sel du métal à déposer (ici du zinc).

d'acier. Mais, vu qu'il s'agit d'un état de guerre donc par mesure de précaution, ils ont pris l'initiative d'enduire le métal d'un produit bitumeux mat pour éviter qu'il désigne la cible à l'ennemi en réfléchissant la lumière. L'avantage de cette expérience est préservé même après la guerre, car l'on s'est aperçu que le revêtement a protégé efficacement l'acier des effets de la corrosion. Ce qui entraîne par la suite le perfectionnement des systèmes de peinture et l'évolution rapide de l'usage de couverture métallique prélaqué qui s'étend des édifices militaires aux constructions industrielles puis aux bâtiments résidentiels. A partir de 1975, la production de l'acier laqué se lance en France.

2.1.10. L'aluminium

L'alumine est découverte en 1821. En 1825, une première préparation du métal est élaborée en traitant du chlorure d'aluminium avec un mélange de mercure et de potassium, mais cette démarche fondée sur des réactions chimiques complexes est très coûteuse, d'où la rareté du métal (Lebouteux, 2000). En 1831, une réserve d'aluminium est découverte aux beaux-de-Provence induisant l'installation de la première usine en 1859. Ainsi, en 1860, l'aluminium est produit à Paris à partir d'un procédé de réduction du chlorure d'aluminium par le sodium (Lebouteux, 2000). Avec la révolution industrielle, le procédé d'électrolyse de l'alumine est mis au point en 1886 et breveté au nom de Paul Louis Toussaint Héroult (Grinberg, 2009). La création de la Société Electrométallurgique Française en 1887 à Froges (Isère) permet l'industrialisation de l'aluminium (CCSTI, 2006). Aujourd'hui, ce processus d'électrolyse est toujours la seule méthode de production de l'aluminium (Lebouteux, 2000).

L'usage de l'aluminium se développe vraiment à partir de 1900 et particulièrement entre les deux guerres. Il est employé d'abord à l'état pur, pour sa légèreté et son inaltérabilité (Lebouteux, 2000). Pour assurer une résistance mécanique plus grande, différents alliages sont mis au point. Le premier alliage d'aluminium contenant du cuivre et du magnésium est produit en 1908 (ECCA, 2012). Le second alliage d'aluminium avec 13 % de silicium affiné au sodium est élaboré en 1920.

En 1930 débute la production de l'aluminium laminé. Cette production s'accélère pendant la seconde guerre mondiale (ECCA, 2012). A partir de 1940, l'aluminium prélaqué a fait son apparition et a connu vite un grand développement.

2.1.11. Les bardeaux bitumineux

Au cours des années 1920, les bardeaux d'asphalte sous forme de losange apparaissent comme un nouveau matériau (Hauglustaine et Simon, 2003). Ce produit initialement destiné

aux étanchéités des toitures-terrasses trouve sa place en tant que couverture des toitures inclinées. En effet, il s'avère plus économique que les matériaux traditionnels et métalliques. Son utilisation augmente après la guerre et pendant les trente glorieuses (entretien avec M. Boisseau, Syndicat des entreprises de couverture). L'innovation de l'utilisation des bardeaux d'asphalte ne cesse de croître. Entre 1960 et 1970, une armature en feutre cellulosique supplante l'armature en feutre de chiffon. Cette période se caractérise en outre par l'apparition d'un très grand choix de coloris. L'ajout de bandes autocollantes à la surface des bardeaux pendant la fabrication permet de faciliter la mise en œuvre du procédé (CASMA, 2010). Grâce à sa facilité de mise en œuvre, la technologie de production de l'asphalte ne cesse de se développer avec l'amélioration des matières premières. Le feutre organique qui constitue l'armature du bardeau d'asphalte, est actuellement remplacé par une feuille de base en fibre de verre, afin d'éviter les algues et d'augmenter la résistance à la chaleur (CASMA, 2010).

2.1.12. Les plastiques

Le plastique est un matériau récent, essentiellement à base de résines synthétiques, qui n'apparaît en France que depuis la dernière guerre mondiale (Emery et Sentier, 1970).

En 1933, la première production commerciale du PMMA (polyméthacrylate de méthyle) est mise en place : il est utilisé dans plusieurs applications (ex : prothèse dentaire, fibres optiques). A partir des années 1950 l'application du PMMA pour les couvertures apparaît sous forme de lucarnes, dômes de toitures, coupoles...L'année 2011 marque le lancement d'un nouveau produit composé de feuilles acryliques qui peuvent remplacer le verre en ayant l'avantage d'être deux fois plus léger que le verre. Cette performance lui a valu d'être utilisé dans le toit panoramique.

Le PVC est apparu au milieu du 20^{ème} siècle. Il s'agit d'un produit plus léger que les matériaux métalliques. Il est plus facile à mettre en œuvre. Dans l'objectif d'éviter tout effet potentiellement nocif, toute composition chimique du PVC est enregistrée au titre du règlement REACH³⁷ (Registration, Evaluation Authorisation restriction of Chemicals) auprès de l'Agence européenne des produits chimiques. En effet, depuis le 31 décembre 1992, le cadmium est interdit d'usage en tant que « colorant dans certains polymères et peintures et

³⁷ REACH est un règlement européen (règlement n°1907/2006) entré en vigueur en 2007 pour sécuriser la fabrication et l'utilisation des substances chimiques dans l'industrie européenne. Il s'agit de recenser, d'évaluer et de contrôler les substances chimiques fabriquées, importées, mises sur le marché européen. D'ici 2018, plus de 30 000 substances chimiques seront connues et leurs risques potentiels établis ; l'Europe disposera ainsi des moyens juridiques et techniques pour garantir à tous un haut niveau de protection contre les risques liés aux substances chimiques.

comme stabilisant du PVC dans certaines applications ». Pourtant cette interdiction n'a pu être généralisée puisque sa présence était autorisée dans certains PVC rigides, faute de produits de substitution sur le marché³⁸.

A partir de l'année 2001 le cadmium est totalement abandonné. Mais il est important de noter que la plupart des états membres de l'UE qui ont interdit son utilisation dans la fabrication, permettent encore le recyclage de déchets de PVC contenant du cadmium... En France, l'industrie du PVC s'est aussi engagée à rechercher et à développer des stabilisants alternatifs au plomb. Citons à ce propos l'exemple du calcium/zinc qui a été mis en place en fin 2002 pour remplacer le plomb. Depuis plusieurs années, la question du PVC sans plomb fait l'objet de réglementation. Elle s'illustre notamment par la directive européenne qui fixe la date de 2010 pour une réduction de 50 % des stabilisants en plomb et celle de 2015 pour un PVC produit 100% sans plomb³⁹.

2.2. Les matériaux des toitures-terrasses

L'apparition du béton armé marque la construction des bâtiments en facilitant les opérations de coffrage et de coulage. Au début du 20^{ème} siècle la toiture-terrasse révolutionne le domaine de la couverture en se distinguant par son faible coût par rapport une toiture inclinée. En effet, cette dernière fait appel à une technicité très spécifique de mise en œuvre : utilisation de la charpente, nécessité d'éléments de raccord (chéneaux, arêtiers, noues...) etc. (Magne, 1929 ; Hauglustaine et Simon, 2003).

Le début du 20^{ème} siècle connaît une remarquable évolution en matière de revêtement d'étanchéité. Avant cette date, les supports de toiture sont composés de béton ou de planchers en bois. Et grâce aux nouveaux matériaux d'étanchéité, élaborés à partir des sous-produits de la distillation du pétrole, le plancher supérieur devient le support de la couverture. (Hauglustaine et Simon, 2003).

³⁸Le règlement Européen n°494/2011 de la commission du 20 mai 2011 modifie le règlement (CE) n°1907/2006 concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques (REACH) en ajoutant des restrictions (annexe XVII) sur les utilisations du cadmium (JOUE L134/2 du 21 mai 2011). Un rectificatif corrigeant les dates d'applications de ces interdictions a été publié (JOUE L136/105 du 24 mai 2011).

³⁹Selon la directive (67/548/CEE) concernant la classification des substances dangereuses ; « la plupart des composés à base de plomb, dont ceux utilisés dans le PVC, sont classés comme toxiques pour la reproduction, nocifs, dangereux pour l'environnement et présentant un danger cumulé. Les stabilisants à base de plomb et de cadmium ajoutés au PVC restent (probablement) intégrés au PVC durant sa phase d'utilisation, mais une contamination potentielle est possible durant les phases de production et d'élimination

2.2.1. L'étanchéité en asphalte

L'asphalte existe depuis l'Antiquité. En 1820, il est utilisé pour couvrir les trottoirs de Paris. Son utilisation augmente avec le développement du secteur de l'automobile et elle s'étend pour revêtir les toitures-terrasses (Magne, 1929).

Dans les années 1950, l'asphalte connaît un grand succès en devenant le produit favori. Depuis cette époque, l'évolution des étanchéités ne cesse de se déployer afin de produire des matériaux d'étanchéités plus performants et plus durables. Aussi la pose de feutres bitumés remplace l'asphalte vers le milieu du siècle dernier. Par la suite, le travail de bitume à chaud est éliminé et remplacé par des soudures ou de collage, dans le but de réduire le temps de chantier (Magne, 1929).

La réfection de l'étanchéité de la toiture-terrasse apparaît en novembre 2002, elle est soumise à la norme NF P 84-208-1 (DTU 43.5) (CERTU, 2003).

Le 1^{er} décembre 2010, un important changement a lieu dans la production de l'asphalte coulé : le rythme des travaux s'est vu accéléré avec la mise en place de la réglementation REACH qui vise à diminuer la température de fabrication à des températures maximales de 200°C. Cette décision a permis d'offrir un meilleur confort pour les applicateurs et une forte réduction des consommations énergétiques.

Il faut noter que les membranes polymères à base de PVC et les revêtements à base de bitume ou d'asphalte sont totalement incompatibles car les huiles de l'asphalte et le bitume agressent chimiquement le PVC (CERTU, 2003).

2.2.2. L'étanchéité bitumineuse

En France, le bitume est apprécié dès la fin du 18^{ème} siècle pour ses caractéristiques d'étanchéité des fortifications (CERTU, 2003). Au départ, le bitume est coulé sur la toiture, puis l'évolution industrielle permet de prendre en charge la préfabrication de membranes bitumineuses (Hauglustaine et Simon, 2003). En 1840, le goudron de houille⁴⁰ a été employé pour saturer des couches de feutre et produire par la suite des rouleaux de feuilles feutrées. A cette époque, l'étanchéité en feutres des toitures-terrasses est assurée par du *sable* ou du *gravier* (CASMA, 2010). Cette couche permet de protéger l'étanchéité contre l'action des rayons ultraviolets et des variations brusques de température. En revanche, elle présente l'inconvénient de nécessiter un entretien périodique pour se débarrasser des débris de

⁴⁰ La houille est une roche carbonée sédimentaire correspondant à une qualité spécifique de charbon.

végétation (Hauglustaine et Simon, 2003). Avec l'apparition de supports légers, tels les panneaux de fibres végétales, les tôles profilées et les hourdis en béton cellulaire, cette couche protectrice lourde est abandonnée. Mais elle entraîne l'exposition des feutres bitumés aux rigueurs climatiques et les rend plus vulnérables. Pour remédier au problème de la sensibilité des membranes à l'eau, les armatures en feutre sont progressivement remplacées par des voiles de verre. Cette substitution confère aux membranes une résistance supérieure au vieillissement, les rendant également plus souples mais moins résistantes à la traction et aux déchirures (Hauglustaine et Simon, 2003). En 1903, une nouvelle technique de pose des feuilles feutrées est mise en place : elle est basée sur le découpage manuel sous formes de bardeaux individuels. Cette période est marquée aussi par l'emploi d'un nouveau matériau de surfacage : les granules ardoisés concassés. Le processus de fabrication est amélioré en 1915 par l'introduction du découpage à l'emporte-pièce des rouleaux en continu. L'enduit d'asphalte comporte deux couches ; une sous-couche étanche plus riche en bitume (mastic d'asphalte) et une couche supérieure en asphalte fondu (Henn, 1966).

Jusqu'aux années 1980 les étanchéités sont en *bitume oxydé*. A partir de cette décennie, le bitume oxydé est remplacé par le *bitume modifié* qui présente une meilleure qualité élastique dans le temps (CERTU, 2003). En France, le bitume modifié le plus utilisé est un bitume amélioré par l'adjonction d'un polymère SBS ou APP (plus fragile par temps froid que le SBS) (Bernstein 1997). En 1985, le dioxyde de titane est rajouté dans la composition des membranes bitumineuses afin de minimiser leur entretien. Néanmoins, cette substance est classée depuis l'an 2006 par la commission européenne comme potentiellement cancérigène pour l'homme (Honneret et Mater, 2012).

2.2.3. Les toitures-terrasses végétalisées

La toiture végétalisée est apparue au 20^{ème} siècle. L'invention du béton armé est sans doute un facteur déclencheur, cette couverture est en voie de devenir la solution qui préserve le rapport entre la ville et la nature (Techniques de l'ingénieur, 2014). A partir des années 1970, cette technique est améliorée avec l'arrivée des membranes d'étanchéité légères et résistantes à la pénétration racinaire ainsi qu'à la présence d'un mélange terreux allégé.

Au milieu des années 1980, l'Allemagne innove une alternative dite « végétalisation extensive » de faible épaisseur, légère et économique à poser. Cette innovation est à l'origine d'un important développement dans ce pays au milieu des années 1990. Elle représentait déjà près de 15 % des toitures-terrasses nouvellement créées (Techniques de l'ingénieur, 2014).

En France la toiture végétalisée n'a pas connu autant succès qu'en Allemagne. La raison est liée au fait que le premier lancement de ce type de couverture a présenté des défauts entraînant ainsi le freinage de la diffusion. En termes plus précis, le bitume était trop rigide ce qui a provoqué une fissuration de l'étanchéité d'une part, et l'absence de la couche de drainage d'autre part. Tout ceci a conduit au bouchage des descentes pluviales. Actuellement ces problèmes sont résolus par l'utilisation d'un bitume élastomère plus souple et l'ajout d'additifs chimiques antiracinaires et par la mise en place de la couche de drainage ([Techniques de l'ingénieur, 2014](#)). Malgré cela, et jusqu'en 2006 en comparant avec l'Allemagne, ce type de toiture est resté peu développé en France.

Aujourd'hui, certaines municipalités françaises envisagent de rendre obligatoire l'emploi de toitures végétalisées. Des PLU (Plans Locaux d'Urbanisme) pourraient comptabiliser les toitures végétalisées à l'égal d'un espace vert. De plus, le règlement énergétique RT 2012 renforce le choix de la végétalisation, à condition d'une meilleure quantification climatique et thermique ([Techniques de l'ingénieur, 2014](#)).

2.3. Les matériaux des autres éléments de la toiture

Dans le [Chapitre 1.1](#), nous avons montré que les matériaux utilisés en rampant ne sont pas nécessairement employés pour les autres éléments de toitures (ex : gouttière, noue, descente...). Ainsi, l'objectif de ce paragraphe est de décrire l'emploi au cours du temps des matériaux dans les différents éléments de toiture. Nous optons pour une présentation par matériau puisqu'un seul matériau peut être utilisé pour plusieurs éléments de toiture.

Notons que, particulièrement, les descentes sont apparues en France au début du 19^{ème} siècle. En effet, le 24 décembre 1823 à Paris représente un événement à effet décisif sur l'évolution de l'architecture en France. Vu les grands dangers menaçant d'épidémie à cause de l'insalubrité des rues, une ordonnance a été publiée pour supprimer les gouttières saillantes (gargouilles, canons) ([cf. Figure 59](#)) et rendre ainsi les tuyaux de descente obligatoires. Ces gouttières ne peuvent alors n'être qu'en cuivre, zinc, ou tôle étamé et les tuyaux de descente qu'en plomb, fonte, cuivre, zinc ou tôle étamée.

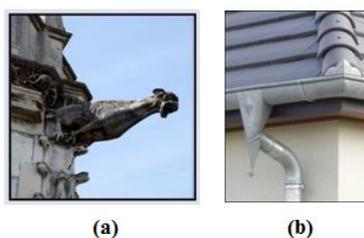


Figure 59 : (a) Gouttière saillante en forme de Gargouille ; (b) Tuyaux de descente

2.3.1. Le Plomb

Le plomb est le premier matériau métallique employé dans les différents éléments de toiture. En France la renaissance représentait l'âge d'or du plomb entre décors et sculptures sur les toitures. Jusqu'au 18^{ème} siècle, il accompagne ainsi la couverture d'ardoise des édifices importants en faitage, arêtières, lucarnes, chéneaux, terrassons, membrons, arêtières, noues, etc. ([Lebouteux, 2007](#)).

2.3.2. Le cuivre

Ce métal est aussi utilisé pour les accessoires : tuyaux de descente, gouttières, chéneaux, noues, bandes de rive, solin, couverture de mansardes, avant-toit, entablement, marquises, loggia, etc. Le 19^{ème} siècle voit apparaître l'usage du cuivre comme matériau des éléments de décorations pour la toiture comme des statues en tôle de cuivre pour les bâtiments civils et religieux. En 1889, l'usage du cuivre évolue dans les ornements et les accessoires ([Rodighiero, 1960](#)). A partir de 1940, le cuivre à 0,5% d'arsenic est imposé pour la plomberie (gouttière et descente) ([Belhoste, 2001](#)).

2.3.3. Le zinc

A partir du 19^{ème} siècle, le zinc est le matériau principal des éléments d'étanchéité (faitage, noue, arêtières, rive...) et des accessoires (noquets...) de toitures ([Moralès, 2005](#)). Il est notamment utilisé pour les gouttières des toits de Paris depuis le baron Haussmann. Le décret du 25 juillet 1862 du préfet de police de Paris rend le zinc obligatoire pour réaliser les gouttières ([Smits, 1927](#)).

Entre 1889 et 1899, un procédé du plombage⁴¹ a été mis en place pour donner aux ornements en zinc l'aspect du plomb (Baltus, 2000). Parmi les grandes applications du plombage sont les ornements du dôme du Petit Palais à Paris (Smits, 1927).

Le zinc prépatiné, apparu en 1978, est associé avec les toitures en ardoise et en lauze, il est utilisé notamment pour les accessoires d'évacuations d'eaux de pluie (gouttière, noue, descente) (site VMZINC).

2.3.4. L'acier

Au 19^{ème} et au début du 20^{ème} siècle, le fer-blanc terne est utilisé dans les éléments de toiture tels que la gouttière, la descente, les arêtiers, les faitières, les clochers, les épis de faitage (poinçon), etc. (Mignery, 2000). Le fer-blanc disparaît au cours du 19^{ème} siècle.

L'acier inoxydable est exécuté dans les mansardes, solins et dans les gouttières et chéneaux (Rodighiero, 1960).

L'acier prélaqué, découvert au milieu du 20^{ème} siècle peut être utilisé dans les accessoires de la toiture : pièces de finition, étanchéité, gouttières, faitières, cavaliers, crochets, etc. (ECCA, 2012).

2.3.5. Le PVC

D'après M. Fabien Perez (société Nicoll), les gouttières en PVC apparissent vers les années 1980. Il s'agit d'un produit plus léger que les matériaux métalliques. Il est plus facile de mettre en œuvre car l'assemblage se fait par collage et ne nécessite pas l'intervention de plusieurs personnes comme pour les matériaux métalliques. Le PVC est d'abord employé en plomberie dans les canalisations d'évacuation de l'eau à l'intérieur du bâtiment. Vu ses avantages (souplesse et prix faible), le PVC a été proposé, en 1980, sur le marché des évacuations des eaux de pluie (gouttière et descente) des toitures. Ainsi, un savoir-faire a été développé pour adapter une gouttière en PVC. En effet, à part les contraintes techniques, il y a aussi la contrainte esthétique. La gouttière est un élément apparent dans une toiture. Nous trouvons des gouttières pendantes fixées sur des crochets qui ne prennent pas leurs appuis sur le toit mais sur le portant. Il y a aussi une diversité au sein même des gouttières pendantes. Ceci a influencé l'apparition du PVC en gouttière. Il a fallu du temps pour pouvoir s'adapter au marché de gouttières dominé par le zinc.

⁴¹ Le plombage est un procédé permettant de donner aux ornements en zinc l'aspect du plomb. Cette application consistait à les couvrir d'une ou plusieurs couches de graphite mélangé à de l'acide acétique (600g de poudre/1L de vinaigre). Ce qui représente un enduit inaltérable (Smits, 1927).

2.3.6. L'aluminium

Les gouttières en aluminium existent depuis l'apparition de l'aluminium, mais leur utilisation est très limitée. En effet, d'après M. Boisseau la soudure d'une gouttière en aluminium est très complexe du fait que l'aluminium présente un très grand coefficient de dilatation.

Les gouttières en aluminium ont connu une innovation vers les années 2000 permettant leurs utilisations massives en toiture. Il s'agit d'un système de fabrication en continu. L'originalité de ce concept réside dans le principe technique de fabrication de la gouttière en aluminium laqué. Fabriquée en continu directement sur le chantier, la gouttière en aluminium laqué est coupée à la longueur de la construction, sans raccord ni soudure (entretiens avec les experts de la couverture).

2.3.7. La terre cuite

Les éléments singuliers de la toiture en tuiles en terre cuite peuvent également être en terre cuite. Il s'agit d'un matériau très ancien. Il existe aussi le type de noquets en terre cuite. Ce sont des accessoires qui forment un angle et dont la partie haute est plus large que celle du bas. Ils sont employés à la place des demi-tuiles de rives, en mettant en place un noquet tous les deux rangs (Lyonnet, 2004a).

2.4. Tableau chronologique de l'évolution des matériaux de toiture

Cet aperçu sur l'évolution des matériaux de toiture est résumé dans le [Tableau 8](#). Y sont consignées les dates qui ont marqué le changement d'un matériau de toiture : apparition, disparition, changement de composition ou d'usage, etc. Nous remarquons que la révolution industrielle est l'événement marquant l'histoire des matériaux de toiture en termes d'innovation et de progrès techniques. C'est à partir de cette époque que le patrimoine bâti présente une diversité importante des matériaux de toiture existants jusqu'à aujourd'hui. Certes, certains matériaux ont disparu du marché comme le fer-blanc et l'amiante mais au niveau des constructions existantes il est fort probable de trouver ces produits encore installés. L'apparition du béton armé a également marqué le domaine du bâtiment en faisant apparaître la toiture-terrasse au début du 20^{ème} siècle.

Actuellement, aucun travail sur l'histoire des matériaux de couverture à partir du 1900 et jusqu'à aujourd'hui n'a été effectué (entretien avec Mme Annick Texier, Laboratoire de

Recherche des Monuments Historiques)⁴². Cette période se caractérise par beaucoup d'innovation de matériaux : certains connus comme le zinc, imposé à Paris et étendu dans les villes de la banlieue de Paris

Pour conclure, notre travail est considéré comme une première image de l'histoire des matériaux de toiture qu'il conviendrait d'approfondir dans le cadre d'autres travaux spécifiquement dédié à cette question.

⁴² Mme Annick Texier est responsable du pôle métal dans le Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques. Elle est spécialisée dans l'étude des couvertures métalliques (plomb, cuivre, zinc...) très anciennes datant du moyen âge et du 19^{ème} siècle. Selon elle, l'information sur les matériaux pour la période depuis 1900 n'est pas facile à obtenir car les études de marché sur les matériaux de construction ne sont apparues que récemment vers les années 1990. Ainsi, on connaît mieux ce qui s'est passé entre le Moyen âge et le 19^{ème} siècle que entre le 19^{ème} siècle et aujourd'hui au niveau des documentations. En fait, le patrimoine après le 19^{ème} siècle est considéré comme inintéressant. En effet, durant ce siècle, plusieurs matériaux ont été utilisés, des matériaux traditionnels (la tuile, ardoise, chaume, métal...), des matériaux nouveaux (bardeaux, fibres ciment...), nouveaux mode de mise en œuvre, etc. Ainsi, une synthèse complète de l'histoire nécessite une thèse. Quelques pistes d'approfondissement ont été proposées en se basant sur les méthodes employées au LRMH :

- Dépouillement des bases de données (des journaux ou des presses spécialisées) fournies dans les expositions universelles comme BATIMAT
- Dépouillement des magazines spécialisés depuis leurs apparitions comme « travaux publics » et qui sont disponibles dans les centres de documentation, bibliothèque CNAM...Et il faut éplucher toutes les revues à raison d'une revue par mois pour plusieurs années.
- Les tableaux de peintres qui peignent des villes : l'analyse des tableaux de peintres qui peignent des villes pour estimer les matériaux de toitures employés. L'information à partir des tableaux sera recoupée avec d'autres pour tracer la vraie image des toitures.

Tableau 8 : Tableau chronologique de l'évolution des matériaux de toiture

	1800-1850	1850-1900	1900-1920	1920-1940	1940-1960	1960-1980	1980-2000	2000-...	
Chaume	1800-1900 : Utilisation de la couverture en chaume		1900 : Limitation de la couverture en chaume en compagnes						
Bois	1800-1850 : Utilisation de la couverture en bois	1850 : Les couvertures en tuile en terre cuite et en ardoise remplacent celles en bois	1900 : Limitation de l'utilisation d'une couverture en bois en ville à cause de son cout très élevé				1993 : Interdiction totale de l'utilisation de la creuse (carbonates de plomb) dans la peinture du bois		
Ardoise naturelle	1800-1850 : Utilisation de l'ardoise dans les constructions prestigieuses	1850 : Développement de l'utilisation de l'ardoise grâce à la révolution des moyens de transport	L'ardoise est toujours employée en couverture.						
Amiante ciment		1860-1945 : La grande phase industrielle de l'amiante ciment			1950 : Apparition des ardoises en fibres ciments sur le marché de couverture	1973 -1975 : Utilisation d'environ 150000 de tonnes d'amiante par ans en France 1978 : Limitation de l'usage de l'amiante en France à cause de ses effets cancérogènes	1997 : Interdiction de l'emploi de l'amiante et obligation du remplacement de l'amiante avec des fibres organiques ou minérales.		
Tuile en terre cuite	1800-1900 : L'industrialisation de la tuile en terre cuite. -Le développement de l'ardoise a mis fin à la tuile bourgeoise (tuile canal) 1841 : Fabrication de la tuile à emboitement (tuile mécanique) ce qui a permis de couvrir la France rapidement avec ces tuileries industrielles 1850 : Le début d'emploi des nouvelles techniques d'émaillage et d'engobage)		La tuile en terre cuite est toujours employée en couverture						
Tuile béton			1919 : Apparition de la tuile béton en Angleterre			1960 : La tuile béton devient la nouvelle référence en matière de couverture moderne	La tuile béton est toujours employée en couverture		
Plomb	1800 : Utilisation du plomb coulé sur sable pour la restauration 1823 : Suppression des gouttières saillantes et rendre ainsi les tuyaux de descente obligatoires le plomb est parmi les matériaux employés pour les tuyaux de descente.	1869 : La couverture du dôme des invalides est en plomb laminé 1850 : Limitation de l'utilisation du plomb laminé pour les monuments historiques 1890 : Disparition du plomb coulé sur sable en France	Limitation de l'utilisation du plomb laminé pour les petits éléments de toitures (ex : étanchéité)					1982 : Normalisation du plomb (A 55-401) exigeant une pureté de 99,9%	Limitation de l'utilisation du plomb laminé pour les petits éléments de toitures (ex : étanchéité)

	1800-1850	1850-1900	1900-1920	1920-1940	1940-1960	1960-1980	1980-2000	2000-...
Cuivre	1800-1850 : Apparition du cuivre laminé en France.	1881 : Production du cuivre <i>pur</i> 1889 : Evolution de l'usage du cuivre dans les ornements et les accessoires		1920 : - Apparition du cuivre riche en arsenic - Le cuivre à 0,5% d'arsenic est imposé pour la plomberie (gouttière et descente)	1940 : lancement d'un cuivre à 0,5% d'arsenic pour la toiture		1987 : Développement de la production du cuivre pour la toiture 1996 : Normalisation du cuivre naturel NF EN 1172.	2006 : une diminution de la consommation du cuivre à cause de l'augmentation très élevée du cout des métaux 2007 : Normalisation du cuivre allié NF EN 504 / 506 ; Limitation de la quantité d'impuretés dans le cuivre (cuivre, cadmium, bismuth, argent, étain et zinc).
Zinc	1800 : - Apparition des toitures en zinc naturel - A partir du 19 ^{ème} siècle, le zinc est le matériau principal des éléments d'étanchéité (faitage, noue, arêtières, rive...) et des accessoires (noquets...) de toitures 1810 : Apparition du zinc laminé 1810-1850 : Apparition des toitures le zinc en France sur des bâtiments industriels ou artisanales 1820 – 1830 : Forte croissance de l'utilisation du zinc grâce à la grande quantité du zinc importée en France 1837 : Création de la société Vieille-Montagne des mines et fonderie de zinc et début du développement du zinc laminé en France	1853 : Création de la société Compagnie royale asturienne des Mines 1840-1870 : Reconstruction de Paris sous la conduite du Baron Haussmann avec utilisation massive des toitures en zinc (3/5 des nouvelles couvertures) 1862 : Le décret du 25 juillet du préfet de police de Paris impose le zinc pour réaliser les gouttières. 1889-1899 : Mise en place procédé du plombage du zinc	1902 : Le règlement d'urbanisme de la ville de Paris de 1884 modifié en 1902 détermine des gabarits-type pour la construction des immeubles et le développement des charpentes	1930 : Brevet du premier alliage du zinc au cadmium		1978 : - Apparition du zinc prépatiné - Utilisation du zinc prépatiné pour les éléments (gouttière, noue...) des toitures en ardoise et en lauze 1983 : - Interdiction du cadmium - Apparition de la première norme NF A55-201 (1983-06-01) de composition du zinc (Zn-Cu-Ti) 1987 : Fusion des sociétés Vieille-Montagne des mines et fonderie de zinc et Compagnie royale asturienne des Mines en conservant le nom la Vieille-Montagne	1990 : Lancement du zinc bilaqué par VMZINC.	2003 : Nouvelle norme NF EN 1179 (septembre 2003) imposant un alliage zinc-titane de degré de pureté élevé de 99,995% du zinc 2005 : Première production du zinc coloré en masse
Fer blanc	1800-1900 : - Utilisation du fer blanc brillant sur le rampant - Utilisation du fer blanc terne pour les gouttières, les descentes, les arêtières, les faitières, etc. 1800 : Addition d'une peinture à l'huile pour résister à l'oxydation.				1954 : Disparition du fer blanc et son remplacement par l'acier galvanisé			

	1800-1850	1850-1900	1900-1920	1920-1940	1940-1960	1960-1980	1980-2000	2000-...
Acier galvanisé	1840 : Le début d'utilisation de l'acier galvanisé en toiture.	1853 : Un nouveau système de couverture en tôle ondulée ou nervurées est mis en œuvre à Paris, la couverture en tôle ondulée	1900 : Apparition de la méthode de galvanisation de la tôle par précipitation électrolytique du zinc sur le fer 1920 : nouveaux procédés continus, le laminage continu à chaud et à froid	1934 : Production massive de l'acier	1950 : Apparition du revêtement métallique zamak (Zn+Al+Mg) 1958 : Adaptation du concept de la galvanisation sur bobine.		1981 : Apparition de l'aluzinc (Zn+Al+Si) et du galvan : (Zn+Al)	
Acier inoxydable			1913 : Début du développement industriel de l'acier inoxydable	1936 : Apparition de l'acier inoxydable duplex de première génération (ajout de Ni)	1950 : Apparition de l'acier inoxydable en couverture	1968 : Apparition de l'acier inoxydable seconde génération (alliage de N) 1970 : Apparition de l'acier inoxydable laqué 1971 : Le soudage de l'acier ferritique par un alliage à l'étain plomb	1990 : Enrichissement du revêtement en plomb/étain par le molybdène 1994 : Application du revêtement tout étain selon la norme A.36.332 1995 : L'apparition d'aciers ferrite UGINOX FTE (avec Titane) et austénitique UGINOX AME (avec molybdène)	2000 : Apparition de l'Acier inoxydable hyperduplex
Acier laqué					1940 : Apparition de l'acier prélaqué	1975 : Lancement de la production de l'acier prélaqué en France		
Aluminium	1821 : Découverte de l'alumine 1825 : Première préparation du métal aluminium 1831 : Découverte d'une réserve d'aluminium aux beaux-de-Provence	1860 : Première production de l'aluminium à Paris 1886 : Brevet du procédé d'électrolyse de l'alumine au nom de Paul Louis Toussaint Héroult 1887 : Industrialisation de l'aluminium suite à la création de la Société Electrométallurgique Française à Froges	1900 : Développement de l'usage de l'aluminium à Paris 1908 : Premier alliage d'aluminium contenant du cuivre et du magnésium	1920 : Second alliage d'aluminium avec 13 % de silicium affiné au sodium 1930 : Production des tôles laminées d'aluminium 1939-1945 : La Seconde Guerre mondiale accélère la croissance de l'aluminium 1940 : Apparition de l'aluminium prélaqué				2000 : Développement de l'utilisation de la gouttière en aluminium suite à une innovation dans la pose : il s'agit d'un système de fabrication en continu

	1800-1850	1850-1900	1900-1920	1920-1940	1940-1960	1960-1980	1980-2000	2000-...
Bitume	<p>1800-1980 : Utilisation du revêtement multicouche en bitume oxydé</p> <p>1840 : L'étanchéité en feutres des toitures-terrasses est assurée par du sable ou du gravier</p>		<p>1903 : Apparition d'une nouvelle technique de pose basée sur le découpage manuel sous formes de bardeaux individuels</p> <p>1915 : Introduction du découpage à l'emporte-pièce des rouleaux en continu</p>	<p>1920 : Apparition des bardeaux d'asphalte sous forme de losange</p>	<p>1950-1980 : Utilisation massive des bardeaux bitumineux comme couverture des toitures inclinées</p>	<p>1960- 1970 : -Utilisation de l'armature en feutre cellulosique</p> <p>- Apparition des bardeaux colorés</p> <p>1960 : Ajout des bandes autocollantes à la surface des bardeaux pendant la fabrication pour faciliter la mise en œuvre</p>	<p>1980 : Remplacement du bitume oxydé par le bitume modifié par les polymères (<i>SBS, APP</i>)</p> <p>1985 : Introduction du dioxyde de titane (Ti O2) dans le bitume</p>	<p>2006 : Classement du Ti O2 comme une substance cancérigène</p>
PVC			<p>1900 : Découverte du PVC</p>				<p>1980 : Apparition des gouttières en PVC</p> <p>1992 : Interdiction du cadmium comme plastifiant dans le PVC</p>	<p>2002 : Remplacement des stabilisants en plomb par le calcium/zinc</p> <p>2010 : Réduction de 50 % des stabilisants en plomb fixée par directive européenne</p> <p>2015 : Réduction de 100 % des stabilisants en plomb fixée par directive européenne</p>
PMMA				<p>1933 : Première production commerciale du PMMA</p>	<p>1950 : Application du PMMA pour les couvertures sous forme de lucarnes, dômes de toitures, coupoles</p>			<p>2011 : Intégration de feuilles acryliques et utilisation du PMMA est dans le toit panoramique</p>
Asphalte	<p>1820 : L'asphalte est utilisé pour couvrir les trottoirs de Paris</p>				<p>1950 : Développement de l'utilisation de l'étanchéité en asphalte</p>			<p>2002 : Apparition de la norme NF P 84-208-1 (DTU 43.5) pour la réfection de l'étanchéité de la toiture-terrasse</p> <p>2010 : Réduction des consommations énergétiques liées à la production de l'asphalte suite à la réglementation REACH</p>
Toiture végétalisée			<p>1900 : Apparition de la toiture végétalisée</p>			<p>1970 : Amélioration de ces toitures en intégrant les membranes d'étanchéité et résistantes à la pénétration racinaire avec la présence d'un mélange terreux allégé.</p> <p>1980 : Apparition de la « végétalisation extensive » en Allemagne</p>		<p>2006 : Accélération du développement des toitures végétalisées en France</p> <p>2012 : La RT 2012, renforce le choix de la végétalisation</p>

3. Synthèse

L'étude historique des matériaux de toiture et de l'évolution de l'urbanisation de la ville montrent que la révolution industrielle constitue pour les deux l'événement marquant majeur. C'est à partir de cette époque que le patrimoine des toitures commence à se construire au fil du temps jusqu'à aujourd'hui.

Ce travail ambitieux sur l'histoire des matériaux de toiture nous aidera en le croisant avec l'histoire du paysage urbain dans le développement de la méthode d'évaluation des flux de contaminants issus des toitures à l'échelle urbaine. Il s'agit de créer une sorte de filtre historique pour mieux identifier les matériaux de toiture. Par exemple, pour une zone urbaine construite avant les années 1950, l'ardoise en fibre ciment et le zinc prépatiné n'existent pas en toiture. De plus, ce travail permet d'avoir une idée sur les compositions historiques des matériaux. En fait, si une toiture en ardoise en fibres ciment en a été construite avant 1996 elle aura une forte probabilité de contenir de l'amiante.

Néanmoins, d'après notre enquête au sein des experts des matériaux de toiture, il y a un décalage entre l'apparition d'un matériau et sa réelle mise en œuvre sur les toitures. Par exemple, le zinc est apparu en 1810 mais il est vraiment utilisé en toiture à la fin du 19^{ème} siècle. A cette époque, le zinc est utilisé sur les immeubles et il est cher pour être utilisé par les particuliers. Les toitures des pavillons du zinc sont très limitées.

Pour développer notre méthode nous serons amenés à exploiter ce tableau historique en le croisant avec les résultats de notre enquête qui a permis de mieux appréhender l'utilisation de matériaux de toiture à l'échelle urbaine à différents niveaux (historique, réglementaire...) (cf. [Chapitre 2.4](#)).

