

Appareils de chauffage uniquement



ÉTUDES

SUR

L'EXPOSITION DE 1878

ANNALES ET ARCHIVES DE L'INDUSTRIE AU XIX^e SIÈCLE

(2^e PARTIE)

PUBLIÉES PAR MM.

LES RÉDACTEURS DES ANNALES DU GÉNIE CIVIL

AVEC LE CONCOURS D'INGÉNIEURS ET DE SAVANTS FRANÇAIS ET ÉTRANGERS

H. LACROIX

Chevalier de la Légion d'honneur. — Ancien officier d'infanterie de marine.
Ingénieur civil — Membre de l'Institut Royal des Ingénieurs de Hollande, de la Société Royale des Ingénieurs
de Hongrie, de la Société industrielle de Mulhouse,
de la Société d'encouragement pour l'Industrie nationale, etc.

Directeur de la Publication.

TOME QUATRIÈME

CHAUFFAGE ET VENTILATION DES ÉDIFICES PRIVÉS ET PUBLICS.

LA SERRURERIE ET SES OBJETS D'ART, LA GROSSE FERRONNERIE. — LES CARTES

LES GLOBES ET LES APPAREILS DE COSMOGRAPHIE. — L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE.

L'ENSEIGNEMENT PRIMAIRE, SECONDAIRE ET L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR. — ÉCLAIRAGE AU GAZ.

HABILLEMENTS DES DEUX SEXES. — MACHINES SERVANT A LA CONFECTION DES VÊTEMENTS.

L'ALGÉRIE. — L'INDUSTRIE ET L'AGRICULTURE EN ALGÉRIE. — TISSUS

D'AMEUBLEMENT. — CARROSSERIE ET CHARRONNAGE.

1 vol. grand in-8 de 564 pages, avec 148 figures intercalées dans le texte
et 26 planches in-f^o.

Ouvrage honoré de la souscription de M. le Ministre de la Marine



PARIS

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE, INDUSTRIELLE ET AGRICOLE

Eugène LACROIX, Imprimeur-Éditeur

du *Bulletin officiel de la Marine*, Libraire de la Société des Ingénieurs civils de France,
de la Société des Conducteurs des ponts et chaussées, etc.

54, RUE DES SAINTS-PÈRES, 54

(Près le boulevard Saint-Germain)

Propriété de l'Éditeur. Reproduction du texte et des planches interdite.

ÉTUDES SUR L'EXPOSITION DE 1878

TOME IV

CHAUFFAGE ET VENTILATION. — LA SERRURERIE.
LES CARTES ET LES GLOBES. — L'ENSEIGNEMENT. — L'ÉCLAIRAGE.
L'HABILLEMENT DES DEUX SEXES.
NOTES SOMMAIRES.

TABLE DES MATIÈRES

Chauffage et Ventilation des édifices privés et publics, par M. A. WAZON,
ingénieur civil (pages 1 à 27 et 131 à 327, fig. 1 à 51).

	Pages.		Pages.
<i>PREMIÈRE PARTIE. — Études pratiques sur les combustibles.</i>		<i>DEUXIÈME PARTIE. — Chauffage, Principes, Appareils et systèmes.</i>	
Considérations sur l'origine et l'économie du combustible. . .	4	Origine du chauffage. . .	131
I. Combustibles solides.		Nécessité du chauffage	132
Bois.	5	Pertes de chaleur. — Moyens de les diminuer.	134
Charbon de bois.	7	Calcul des pertes de chaleur . .	136
Tourbe	9	Formules de Pécelet. — Murailles.	136
Charbon de tourbe.	10	Vitrages	136
II. Combustibles fossiles.		Pertes par la ventilation . . .	136
Lignites	11	Application des formules. . . .	137
Houilles. Anthracites.	11	Chauffage direct. — Braseros .	138
Houille	12	<i>Cheminées</i>	
Agglomérés	15	Origine de la cheminée. . . .	139
Briquettes perforées	17	Cheminée Savot.	143
Charbon de Paris	17	Foyer de Dalesme.	144
Carbonisation des houilles .		Cheminée de Gauger	144
Coke	17	— de Franklin	146
Carbonisation en fours.	18	— de Montalembert.	147
Combustibles liquides, Pétroles bruts.	19	— de Rumfort	147
Combustibles gazeux	21	— de Pécelet n° 1	148
Gazogènes	22	— de Pécelet n° 2	149
Puissance calorifique des gaz.	23	— de Belmas	150
Gaz de l'éclairage ou gaz-lumière	23	— de Belmas, type Douglas Galton.	151
Fumivorité	24	Proportions des orifices et des conduits pour le passage de l'air.	153
<i>Valeur comparée des combustibles.</i>	26	Effets de l'appareil	153
		Cheminée Fondet.	154



	Pages.		Pages.
Cheminée Basana.	154	Autres appareils Hongrie. . .	193
— Berne	154	Autres poêles, France.	193
— Joly	155	— Belgique.	194
— Wazon.	155	— Suède	194
Poêles	159	— Russie.	194
Poêles métalliques. — Poêles dits		— Autriche.	195
de faïence.	161	— Suisse	195
Poêles de fonte	161	— Danemark	195
de Vendeuvre	163	Autres calorifères.	195
— calorifères	164		
— — Gurney	164	TRISIÈME PARTIE : <i>Ventilation,</i>	
— — Cuau aîné	164	<i>Principes, Systèmes, Applica-</i>	
— — français, Geneste		<i>tions. Principe de ventilation.</i>	
et Herscher	165	Origine de la ventilation	197
Poêle calorifère Musgrave	166	Nécessité de la ventilation	199
<i>Calorifères à air chaud</i>		Composition de l'air	202
Calorifères à air chaud.	166	Proportions d'acide carbonique	
— de Chabannes.	167	de l'air libre (en volumes) et	
— modernes	168	sur 10,000 parties d'air.	202
— Peclét	171	Respiration	203
— Cuau aîné	172	Influence des miasmes organi-	
— Nicora	173	ques.	204
— Gurney	173	Acide carbonique produit par la	
— Musgrave de Belfast.	173	respiration	205
— Piet	173	Influence de l'âge.	205
— thermostat Bolo de		Influence de l'état de veille ou	
Sevray.	174	de sommeil	205
Calorifère Staib (Werbel-Briquet		Influence du travail musculaire	206
à Genève).	174	— de la température	206
Calorifère Gaillard et Haillot	174	— des maladies	207
<i>Calorifères à eau chaude</i>		Volume d'air nécessaire à la res-	
Thermosyphons à basse pression	179	piration	207
Système Duvôir Leblanc	181	Vapeur d'eau produite par la	
— René Duvôir.	182	respiration et la transpiration.	210
— d'Hamelincourt, (suc-		Chaleur produite par l'homme.	210
cesseur de René Duvôir) hy-		Volume d'air nécessaire à l'éclairage :	
dro-calorifère	182	1° éclairage par bougie	
Système Savalle.	183	de l'Étoile.	211
Calorifère à eau chaude, à haute		2° Éclairage à l'huile de Colza.	212
pression, système Perkins	185	3° — au gaz ordinaire	212
<i>Calorifères à vapeur</i>		4° — au gaz oxyhydrique	212
HISTORIQUE.	187	5° — à l'électricité	213
Dispositions principales.	188	Extraction de l'air vicié.	213
Calorifère à vapeur, système		Analyses de l'air confiné	213
Sulzer frères	190	Conséquences	217
Calorifère à vapeur, système Ge-		Introduction de l'air pur	217
nest	190	<i>Systèmes de ventilation.</i>	
Calorifère à vapeur et à eau		Ventilation naturelle	218
chaude, système Grouvelle.	191	— par aspiration.	221
Autres appareils exposés, France	192	— par pulsion	221
— — G ^{de} -Bretagne	192	— par pulsion et aspira-	
— — Belgique	193	tion combinées.	221

	Pages.		Pages.
<i>Appareils d'observation.</i>		Habitations privées	254
Anémomètres Combes	222	Chambres à coucher	254
— Morin	222	Salles à manger.	255
— totalisateur Morin, à compteur électrique.	225	Salons de réception.	256
Tube de Pitot et manomètres	226	Cuisines	258
Hygromètres	228	Water-Closets	259
— de Saussure.	228	Égouts, — Orifices de décharge	261
— Monnier	228	<i>Ventilation des égouts</i>	263
<i>Appareils de ventilation.</i>		Appartements de location.	264
Cheminée d'appel	229	Maisons d'ouvriers	264
<i>Appareils de ventilation par entraînement par l'eau.</i>		Crèches, asiles, écoles primaires	265
Trompes.	231	Écoles de dessin.	269
Entraînement par l'air. — Appareils à air comprimé.	232	Lycées et collèges.	269
<i>Appareils agissant par entraînement.</i>		Amphithéâtres	272
Entraînement par la vapeur. — Injections à vapeur.	233	— du Conservatoire des Arts-et-Métiers	273
<i>Ventilateur à hélice</i>	234	Description des appareils du grand amphithéâtre	274
— Motte	234	Admission de l'air nouveau.	275
— Pasquet	235	Bibliothèques publiques.	277
— Lesoinne	235	Bureaux	277
— Guérin	235	Ateliers, Usines	278
— Howorth	236	Ventilation du tissage d'Arden	283
— Heger.	236	Waters-Closets des usines.	283
— Durenne	236	Casernes, Postes	284
— Geneste et Herscher	237	Casemates.	287
Théorie du ventilateur hélice.	237	Hôpitaux	289
Ventilateur hélice Wazon à section constante et récupérateur de force vive	237	Mortalité des malades dans les hôpitaux généraux de Paris	294
<i>Ventilateurs centrifuges.</i>	239	Hôpital de Guy à Londres	295
— Combes	240	Ambulances temporaires	301
Expériences de Dollfus	242	Maternités, système Tarnier	301
— du général Morin	242	— de St-Petersbourg	302
Llyod soufflant	243	Notice et résultats d'observations sur le chauffage et la ventilation de la maison d'accouchement de St-Petersbourg, par M. le baron de Derschau.	305
Ventilateur Gwyne	244	Hospices, asiles de retraites et d'aliénés.	306
— Golay.	244	Prisons	306
— Cyclops.	245	Dispositions des bâtiments	307
— Guibal	245	Principe du chauffage.	307
— Schiele	245	Ventilation	307
— double de Perrigault	245	Disposition des appareils dans les bâtiments.	307
Théorie du ventilateur centrifuge	246	Églises.	311
Ventilateur centrifuge Wazon	246	Salles de bal, de concert, de grandes réunions, cirques, théâtres.	311
Appareil ventilateur et rafraîchisseur d'air, Garlandat et Nézereaux.	249	Système d'Arcet.	312
QUATRIÈME PARTIE: <i>Applications</i>		Chauffage	312
<i>Considérations générales.</i>	253		



	Pages.		Pages.
Ventilation	312	Systèmes Mathian, système vertical	323
Système du général Morin, appliqué aux théâtres Lyrique et du Châtelet	313	Systèmes Mathian, système horizontal	324
Système d'Hamelincourt appliqué à l'Opéra.	314	Système Michel Perret	324
Système Saxe.	314	— Barillot et Berger	324
Bohm appliqué à l'Opéra de Vienne et à l'Opéra de Londres	314	— Lebœuf Gervais	325
Système Bourdais et Davioud. — Palais du Trocadéro	318	— Vendeuvre	325
<i>Chauffage des serres.</i>		— de Mastaing	325
Considérations générales	320	Thermosyphons anglais, système Keith's	326
		Système Harlow's.	326
		<i>Renseignements supplémentaires.</i>	
		Foyer fumivore.	326

TABLE DES PLANCHES

Chauffage et ventilation.

Planches.

- I. — Cheminées.
- II. — Poêles et calorifères.
- III. — Calorifères à air chaud.
- IV. — Appareils de ventilation.
- V. — Figure 1 Plan général des appareils de chauffage et de ventilation au grand amphithéâtre des Arts et métiers.
 - 2 Section verticale longitudinale.
 - 3 Plan du comble.
- VI. — Applications aux édifices publics.
- VII. — Thermosyphons pour serres.



CHAUFFAGE & VENTILATION

DES ÉDIFICES PRIVÉS ET PUBLICS

PAR M. A. WAZON, INGÉNIEUR CIVIL

Obtenir le maximum d'effet avec
le minimum de dépense.
(LAVOISIER.)

PREMIÈRE PARTIE

ÉTUDES PRATIQUES SUR LES COMBUSTIBLES

PREMIÈRE PARTIE. — *Sommaire* : Considérations sur l'origine et l'économie du combustible. — Combustibles solides. Bois. — Charbon de bois. Tourbe. — Charbon de tourbe. Combustibles fossiles. — Lignites. Houilles. Anthracites. — Agglomérés. Briquettes perforées. — Charbon de Paris. Cokes. — Combustibles liquides. Pétroles. — Combustibles gazeux. Gazogènes. Puissances calorifiques des gaz. Fumivorité. — Valeur comparée des combustibles.

Considérations sur l'origine et l'économie du combustible.

Dans la pratique industrielle on comprend sous le nom de combustibles, toutes les matières capables de produire de la chaleur à un prix modéré, en s'unissant chimiquement avec l'oxygène de l'atmosphère. Cette combinaison est ordinairement désignée sous le nom de combustion. L'oxygène de l'air étant répandu avec abondance dans toute l'atmosphère, on n'a point à se préoccuper de sa valeur commerciale. Mais il n'en est pas de même pour les matières combustibles, car leur production est lente, les réserves limitées, et de plus la répartition fort inégale de ces réserves pour les différents pays, oblige souvent à des transports longs et coûteux qui en augmentent fortement le prix de revient.

Les combustibles employés en économie domestique et industrielle ne se composent en effet que de produits d'origine végétale.

Ils sont donc produits lentement et grâce à l'aide de la radiation du Soleil, dont les rayons chimiques ont seuls la puissance et l'énergie nécessaires pour faire produire la réduction de l'acide carbonique par les parties vertes des végétaux. Cette réduction donne lieu à deux phénomènes principaux : Exhalaison d'oxygène et d'ozone par les plantes, ce qui contribue à maintenir l'atmosphère constamment respirable pour les animaux et les hommes; et combinaison du carbone devenu libre, avec les tissus cellulaires des plantes et des arbres dont il forme la matière principale. Le carbone ainsi fixé par les arbres, représente une partie de l'énergie solaire qui s'y est accumulée sous la forme chimique. Il y a donc dans les bois et les forêts d'énormes sommes d'énergie en repos, en tension; cette énergie est toute prête à fournir à l'humanité la force dont elle peut avoir besoin, sous toutes ses formes : Action chimique, chaleur, mouvement, électricité, lumière. Il en est de même pour les tourbes et les

combustibles fossiles : lignites, houilles, anthracites qui contiennent l'énergie solaire des anciens jours.

Car on est aujourd'hui certain que tous ces combustibles sont produits par la transformation lente des végétaux, accumulés depuis des temps incalculables. La terre recèle donc dans ces précieux dépôts fossiles, une somme d'énergie en tension, de beaucoup supérieure à celle contenue dans toutes les forêts existantes, et il y a là une colossale source de force qu'on pourrait croire inépuisable. Il importe beaucoup cependant de n'en point exagérer l'importance et d'en étudier l'étendue et la répartition sur les différentes contrées. Il est certains pays privilégiés tels que l'Amérique du Nord, la Chine, qui possèdent d'immenses étendues en terrains houillers, dont l'exploitation pourrait alimenter de puissantes industries pendant des milliers d'années; mais ces pays ainsi favorisés sont en bien petit nombre, et tel n'est point le cas pour la France, l'Angleterre, la Belgique, etc., pays essentiellement industriels, où une exploitation énorme s'est rapidement développée.

Si en particulier nous considérons l'Angleterre, dont les houilles fort estimées donnent lieu à une exportation considérable, et dont la production intéresse par là tous les états qui importent ces houilles, nous apprenons avec inquiétude que les savants anglais, économistes et géologues éminents : Jevons, Hull, etc. sont parfaitement d'accord pour prédire que dans un siècle ou deux tout au plus, les mines de houille de l'Angleterre seront épuisées, si l'extraction annuelle suit les mêmes accroissements qu'aujourd'hui. Rien du reste ne permet de faire supposer le contraire, car les applications de la force deviennent tous les jours plus nombreuses et plus variées.

Nous n'avons pas à faire le tableau de ce que deviendrait l'Europe privée de combustible à bon marché. On pense bien que ce serait là une cause de mort ou tout au moins d'un immense abaissement pour son industrie. S'il fallait tirer les houilles de l'Amérique du Nord, elles seraient grevées de frais de transport si énormes, qu'il vaudrait mieux transporter en Amérique la plus grande partie de nos usines.

Quant à tirer des houilles de Chine, il n'y faut pas songer à cause de son trop grand éloignement de l'Europe.

On croit assez généralement que d'ici à l'épuisement des houillères anglaises, il se fera quelque brillante découverte donnant le moyen de produire la chaleur à bon marché. C'est là une erreur grave, qu'il est fort important de dissiper, car elle nous conduirait fatalement à épuiser notre précieuse réserve en combustibles fossiles, avec la prodigalité excessive que nous y mettons depuis longtemps et qu'il faut empêcher au moyen de toutes les ressources que la science nous offre, et qu'on néglige comme à plaisir, en transformant en gaz inertes, d'immenses sommes de force qui disparaissent pour toujours, sans profit pour l'humanité.

Essayons donc de dissiper cette grave erreur, qui fait croire à la découverte de nouveaux combustibles sur notre globe. Et d'abord étudions la composition générale de ce globe formé d'eau et de terre.

L'eau qu'on a souvent proposée comme propre à donner des gaz combustibles, n'est-elle pas déjà un corps oxydé ou brûlé; sa composition chimique, H_2O , n'indique-t-elle pas qu'on a simplement affaire à de l'oxyde d'hydrogène, que nous obtenons tous les jours si abondamment dans les locaux éclairés au gaz. Certes on pourra toujours tirer de cette eau, du gaz hydrogène et la décomposer en ses éléments H et O, mais cette décomposition, on le sait, exigera la même somme d'énergie que celle que procurerait sa recombinaison par la combustion. Donc du côté de l'eau, il n'y a aucune chance de trouver une nouvelle source de chaleur, on en a la certitude absolue.

Examinons maintenant la composition de la terre. Son écorce solide se compose de rocs calcaires, dolomitiques et silicieux, (elle recèle en outre les métaux ordinaires, fer, zinc, etc. ; à l'état d'oxydes, c'est-à-dire de corps brûlés non combustibles). La pierre calcaire est composée de chaux, oxyde de calcium, combinés avec de l'acide carbonique, sa composition est donc complètement exempte de corps combustibles ou oxydables, puisqu'ils sont déjà oxydés. Les roches dolomitiques sont composées de chaux et de magnésie, la magnésie n'est que de l'oxyde de magnésium, métal qui donne en brûlant une brillante lumière. Les dolomies sont donc complètement incombustibles. Les rocs silicieux sont composés de silice, qui n'est elle-même que l'oxyde du silicium, et n'est point oxydable.

Ainsi l'écorce terrestre est presque entièrement composée de corps oxydés, c'est-à-dire brûlés, et les débris végétaux, tourbes, houilles, anthracites, en forment presque exclusivement la portion combustible, (auquel il faut joindre les pétroles d'origine volcanique). Ce n'est donc point dans l'écorce terrestre, ni dans l'océan qu'on peut espérer jamais de découvrir une nouvelle accumulation de combustibles ou une nouvelle source de chaleur. Nous croyons cette vérité parfaitement évidente. Il y a bien comme ressource la radiation solaire qu'on pourrait utiliser en plantant de grandes étendues de forêts, qui donneraient lieu à une production abondante de carbone. Mais l'immense étendue des terres qu'il faudrait ainsi planter, diminuerait les productions alimentaires dans une énorme proportion et comme elles sont déjà insuffisantes, il ne faut guère songer à cette ressource que pour utiliser les sols pauvres et montagneux que le reboisement enrichira, en les couvrant d'humus et en régularisant l'écoulement des eaux. La radiation solaire pourrait être aussi, en quelques contrées chaudes, utilisée sous sa forme calorifique. Des essais ont été faits en Amérique par Ericson, en Algérie et en France par Mouchot, et ils ont fait espérer quelques ressources de ce côté pour les contrées chaudes et lumineuses. Mais il n'est pas besoin d'insister pour faire sentir l'impossibilité d'appliquer ces procédés dans nos froides et brumeuses contrées du Nord de l'Europe. De tout cela il faut conclure qu'il n'y a point à espérer de nouvelles ressources en combustibles terrestres; ni à compter sur la radiation calorifique du soleil, et que nos contrées du Nord de l'Europe sont menacées dans un siècle ou deux, de n'avoir plus assez de combustible pour alimenter une industrie florissante.

Il est donc de la plus haute importance pour l'avenir des peuples de l'Europe, de se préoccuper de cette fort grave question et d'y apporter dès à présent le seul remède pratiquement possible, qui consiste uniquement dans la suppression du gaspillage des combustibles, qui se produit sur une échelle immense et dont nous allons essayer de donner un aperçu sommaire.

Les pertes commencent déjà pendant l'exploitation des houillères, on estime souvent en effet le déchet en menus abandonnés au fond de la mine à 20 %.

Il serait cependant possible d'extraire ces menus et d'en former des briquettes agglomérées qui se vendent fort cher et donnent d'excellents résultats calorifiques, on utiliserait donc aisément ainsi la somme totale fournie par les couches exploitées. Examinons maintenant les pertes qui se font dans les opérations industrielles et domestiques.

L'industrie emploie la houille en quantités énormes pour les opérations métallurgiques. Les appareils ordinairement employés donnent lieu à des pertes colossales. Ainsi on a calculé (W. Siemens) que le four à fusion de Sheffield employé à la fonte des fers et aciers n'utilise que la $\frac{1}{70}$ partie de la chaleur du combustible.

Une réforme fondamentale est donc urgente de ce côté et nous croyons qu'il

y a là une source importante d'économies faciles à réaliser. Il faudra naturellement employer des récupérateurs de chaleur, ne laissant point perdre les gaz à une trop haute température dans l'atmosphère et échauffant avant leur combinaison les gaz combustibles produits dans des gazogènes et l'air destiné à oxyder ces gaz, on obtient ainsi une température plus élevée et plus régulière. Ces appareils demandent il est vrai, de l'espace et coûtent assez cher de construction.

Mais il n'y a point à hésiter et le moment est venu d'entrer largement dans cette voie rationnelle, pour toutes les industries qui demandent de hautes températures, telles que la métallurgie, la céramique, les verreries, etc.

Le combustible nécessaire à la production de la vapeur et de la force, peut être économisé en suivant deux voies différentes. On peut perfectionner les fourneaux et les générateurs servant à produire la vapeur; et on peut aussi perfectionner la machine à vapeur afin qu'elle utilise mieux l'énergie que contient la vapeur d'eau. Les perfectionnements qu'il est urgent d'apporter à beaucoup de générateurs consistent dans un plus long parcours à donner aux gaz chauds, afin d'avoir un contact plus étendu avec les surfaces de chauffe, de façon à rejeter les gaz dans la cheminée à la plus basse température possible. On obtient ce résultat en ajoutant aux bouilleurs ordinaires, des bouilleurs réchauffeurs. Il est également très-nécessaire d'avoir des générateurs et des fourneaux bien enveloppés, car on a constaté (Société industrielle de Mulhouse) des pertes de 20 % causées par la conductibilité des parois des fourneaux et des chaudières. Il faut aussi envelopper avec un grand soin les conduites de vapeur mettant les moteurs en communication avec les générateurs. Enfin le dernier perfectionnement consiste dans l'emploi de bonnes machines à détente et condensation, dont l'usage permet des économies fort élevées.

Une autre et énorme cause de perte de combustible de toute espèce, est causée par le chauffage domestique. La France, l'Angleterre et la Belgique emploient pour ce chauffage, des cheminées ouvertes dont l'utilisation n'est souvent que de 6 à 10 %, il y a donc au moins 90 % de combustible perdu pour toujours par suite de cet usage insensé. Il est vrai que ces cheminées sont infiniment plus salubres que les poêles et les calorifères, car elles renouvellent l'air des pièces par une abondante ventilation, et elles enlèvent l'humidité si préjudiciable à la santé. Elles donnent de plus une chaleur lumineuse, qui n'est pas sans influence sur le physique et le moral de l'homme. Il faudrait donc conserver tous ces avantages en y joignant de grandes économies sur le combustible brûlé. La seule voie à suivre dans ce cas, consiste à faire récupérer par l'air de la pièce, la chaleur inutilement enlevée par la fumée. Un grand nombre d'inventeurs ont fait faire de sérieux progrès aux appareils basés sur ce principe, et il est aujourd'hui facile de trouver dans le commerce, des cheminées à la fois hygiéniques et économiques.

Mais il faut bien le proclamer, cette nécessité n'est point comprise par la grande majorité des architectes et des propriétaires, qui laissent ces prétendus détails à la charge du locataire, qui ne peut bien entendu dans un immeuble dont il n'a que la coûteuse et courte jouissance, faire exécuter les travaux de pose et d'installation nécessités par toute bonne cheminée. Pour réaliser cette importante amélioration il est donc urgent que les architectes étudient ces questions avec le même soin qu'ils apportent aux autres parties des constructions qu'ils élèvent.

Les fourneaux de cuisine dits *économiques*, sont au contraire presque toujours la cause d'une grande perte de combustible, même dans les grands établissements tels que les hôpitaux, lycées, etc.

M. le professeur Muller cite un hospice de Paris, où le remplacement d'un ancien fourneau de cuisine dit économique, par un fourneau bien étudié, amena

une économie de 400 kil. par jour sur 800 kil., soit 50 %, ce qui pour un seul établissement diminuait la dépense de 6000 fr. l'an. Cet exemple suffit pour prouver la valeur des économies à réaliser de ce côté.

Nous croyons avoir établi que la science nous offre, dès à présent, un grand nombre de procédés et d'appareils, à l'aide desquels il est facile de réaliser d'immenses économies dans l'emploi des combustibles. Ces moyens déjà nombreux et efficaces le seraient bien plus encore si les inventeurs étaient secondés et encouragés par l'industrie, qui trop souvent les repousse au lieu de les accueillir et de stimuler leurs efforts par un bienveillant appui.

Nous avons la conviction qu'il n'y a que cette unique et seule route à suivre pour éviter le prompt épuisement de nos réserves de combustibles, précieux dépôt d'énergie accumulé par les végétaux depuis d'innombrables années, et que notre ignorante imprévoyance dissipe avec une prodigalité impardonnable, qu'il est absolument nécessaire de faire cesser.

I. — COMBUSTIBLES SOLIDES.

Bois. — Les bois secs sont principalement composés de carbone, qui en forme environ la moitié en poids, soit 50 %, d'hydrogène 6, et d'oxygène 44 en moyenne. On admet généralement que ces deux derniers corps sont fournis par l'assimilation de l'eau. Quant à l'assimilation du carbone, nous savons qu'elle est produite par l'action des rayons solaires agissant chimiquement sur les feuilles et les parties vertes des végétaux, dont la chlorophylle ou véridine, a le singulier pouvoir de décomposer, en présence des rayons solaires, l'acide carbonique de l'air, ainsi que celui produit par la respiration végétale; décomposition qui laisse libre l'oxygène de l'acide qui s'échappe dans l'atmosphère condensé sous la forme d'ozone. Le carbone de l'acide est fixé au contraire par la plante et par une série de transformations et de circulations dont la connaissance complète est encore fort obscure, arrive enfin à former la principale partie du tissu ligneux des arbres, et y dépose ainsi une partie de l'énergie solaire (1) sous la forme chimique, dépôt de force qui devient ainsi désormais à notre disposition pour la transformer sous toutes les formes qui nous sont utiles. Nous insistons sur ce mot transformer, car il faut bien nous persuader que nous ne pouvons que transformer la matière et la force, et qu'il nous est impossible de créer l'une ou l'autre.

Ne pouvant créer ni la matière ni la force, il est de notre devoir de ménager et d'économiser ces dons de la nature, et en particulier il est surtout nécessaire d'économiser les bois dont la croissance est fort lente, ce qui oblige à leur consacrer de vastes étendues de terre qu'on soustrait ainsi à la culture des plantes alimentaires, malgré l'insuffisance bien reconnue en céréales et en viandes alimentaires.

On divise les bois en deux grandes classes : Bois durs, bois tendres.

Les bois durs comprennent le charme, le chêne, le frêne, le hêtre, l'orme, etc. dont la pesanteur est plus forte que celle des bois suivants : aune, bouleau, peuplier, pin, saule, sapin, tremble, etc., qui sont classés comme bois tendres.

La composition chimique de la partie combustible des deux classes est à peu près identique ainsi qu'on peut le voir par le tableau ci-après qui contient les analyses de M. Chevardier.

(1) Grâce aux admirables travaux de Robert Mayer et de Joule, on sait maintenant que chaque kilogramme de carbone ainsi fixé, contient assez d'énergie pour pouvoir élever à 1 mètre de hauteur un poids égal à $8080 \times 425 = 3,434,000$ kil.

Bien que cette composition soit identique, la différence profonde qui existe dans le mode de combustion des bois durs et tendres, est tellement importante en industrie, qu'il y a presque toujours des motifs pour faire préférer l'une ou l'autre classe suivant l'effet à produire. Les bois durs ne brûlent d'abord qu'à la surface, les gaz combustibles se dégagent rapidement et brûlent dès le commencement de la combustion, il reste donc un charbon compacte et volumineux qui brûle sans flammes et donne une chaleur lente et prolongée. Il en est tout autrement pour le mode de combustion des bois tendres et légers qui brûlent rapidement avec une flamme continue, à cause de leur grande porosité offrant un accès facile à l'oxygène, le carbone y brûle donc en même temps que l'hydrogène et il ne se forme que peu de charbon. Ces bois tendres conviennent donc tout particulièrement aux industries qui réclament une chaleur très-élevée et une flamme longue et continue, tel est le cas pour les verreries et les manufactures de porcelaine.

	Carbone.	Hydrogène libre.
Charme.	0,486	0,006
Chêne.	0,496	0,006
Hêtre.	0,492	0,006
Aune.	0,509	0,011
Bouleau.	0,508	0,011
Pin . .	0,511	0,009
Sapin	0,509	0,009
Saule .	0,500	0,006
Tremble.	0,493	0,009

Les bois durs sont au contraire préférés par les industries qui demandent une température moins élevée, et où une flamme longue et continue n'est pas nécessaire.

Les bois récemment abattus contiennent jusqu'à 45 % d'eau, après deux ans de coupe ils en contiennent en moyenne 15 % et parfois 30 %.

L'écorçage des bois en facilite singulièrement la dessiccation. Uhr a fait à ce sujet des expériences intéressantes et il a trouvé qu'au bout de trois mois de coupe, le bois écorcé avait perdu 40 % de son poids, tandis que le bois garni de son écorce n'avait perdu que moins de 1 %. Il est donc nécessaire de fendre et d'écorcer les bois aussitôt leur abatage.

La puissance calorifique des bois varie avec la quantité d'eau qu'ils contiennent, qui non-seulement n'est pas combustible, mais doit encore être vaporisée, ce qui exige environ 606 calories par kilog. d'eau.

(Nous rappelons qu'une calorie ou unité de chaleur représente la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1 degré centigrade 1 kilogramme d'eau).

Pour faire ressortir la différence considérable en puissance calorifique fournie par le bois à l'état humide ou à l'état de sécheresse complète, nous prendrons pour exemple la puissance calorifique du chêne sec, comparée à celle du chêne mouillé : 1 kilog. de chêne sec équivaut, d'après Payen, à un poids de 0^k,475 gr. de carbone ; la puissance calorifique du carbone étant égale à 8080 calories, cela produit 3837 calories pour le chêne sec.

Si nous prenons le même bois mouillé il contiendra 0^k,450 gr. d'eau qu'il faudra vaporiser aux dépens du carbone du bois. Pour vaporiser ces 450 gr. il faudra $0,450 \times 606^{\text{cal.}} = 272$ calories. D'un autre côté le kilogramme de chêne mouillé au lieu d'être équivalent à 0^k,475 de carbone ne vaudra plus que $0,35 \times 0,475 = 0^{\text{k}},261$ gr., ce qui n'équivaut plus qu'à $8080 \times 0,261 = 2108$ calories desquelles il faut encore retrancher les 272 calories qui ont été consommées par la vaporisation de l'eau de mouillage, ce qui donne enfin 1836 calories



seulement pour la puissance calorifique du kilogramme de bois de chêne mouillé. Nous avons trouvé plus haut que le même bois sec produit 3837 calories le rapport $\frac{3837}{1836} = 2,08$, ce qui prouve que la puissance calorifique du bois

sec est plus que double de celle du même bois mouillé. Il y a donc pour l'acheteur de bois, un intérêt considérable dans les achats faits au poids, à tenir sérieusement compte de la proportion d'eau qu'on achète et qu'on paie au prix du bois sec. Il faut compter pour le bois de chêne desséché 3837 calories, pour le chêne à 15 % d'eau, 3200 calories; chêne à 30 % d'eau, 2500 calories et chêne à 45 % d'eau, 1836 calories. Les autres essences de bois ayant comme on l'a vu la même composition chimique, ont à peu près la même puissance calorifique, les proportions d'eau étant supposées égales.

Quand les bois sont secs il importe beaucoup de les tenir non-seulement à couvert, mais encore dans un local très-sec, car ils absorbent facilement une assez grande quantité d'eau dans les temps humides.

Ainsi, avant d'emmagasiner les bois il faut bien s'assurer que l'humidité qu'ils contenaient en a été expulsée, et que le magasin n'est point humide; car il suffirait d'un faible degré d'humidité intérieure pour amener la pourriture et la carie des bois. Certaines essences, tel que le hêtre, sont surtout exposées à ces accidents.

Bethell et Deckher ont proposé pour ces bois un mode de dessiccation artificielle qui offre quelques avantages; il consiste à faire circuler dans le séchoir, pendant un certain temps, de l'air chargé de fumée de bois dont on connaît depuis longtemps l'action antiseptique. La sève humide évaporée est donc dans ce procédé, remplacée en partie par la créosote, qui empêchant toute fermentation assure ainsi efficacement la longue conservation des bois.

Il est cependant bon de faire observer que ce mode d'opérer ne suffirait pas pour obtenir une dessiccation complète, car la fumée de bois contient de la vapeur d'eau en quantité notable.

Il faudrait donc vers la fin de l'opération, faire passer pendant quelque temps de l'air chaud et sec à travers le séchoir, ce qui compléterait cet ingénieux procédé et en assurerait le succès.

On trouve dans le commerce, des bois flottés dont on a formé des radeaux qui séjournent parfois plusieurs mois dans les rivières. Ces bois sont d'une conservation difficile, et la quantité considérable d'eau qu'ils renferment les rend peu économiques. Il serait bien désirable qu'on renonçât le plus possible à ce défectueux mode de transport des bois.

Charbon de bois. — Le but qu'on se propose en carbonisant les bois, est d'en chasser toutes les matières volatiles, et d'obtenir ainsi un combustible dont la combustion ne produise ni fumée, ni odeur, tout en donnant pour certaines industries une chaleur plus forte que le bois.

Cette préparation donne lieu à une perte considérable d'éléments combustibles, car de 100 kil. de bois on n'obtient généralement que 17 kil. de charbon. Il importe donc de restreindre le plus possible l'emploi de ce combustible et d'un autre côté d'appliquer à sa production les procédés les plus perfectionnés. Ces procédés sont basés sur quelques principes forts simples: Il est d'abord nécessaire de disposer le tirage pendant la carbonisation, pour que l'air d'accès passe du bois frais au bois carbonisé, car les produits volatils étant brûlés par l'air d'accès, celui-ci se trouve entièrement dépouillé de son oxygène quand il arrive au contact du bois déjà carbonisé et il ne peut ainsi brûler le carbone solide en le transformant en acide carbonique.

La carbonisation doit être aussi opérée lentement et à basse température,

car on a observé qu'une combustion vive ne donne en charbon qu'environ 45 %₀. Tandis qu'une combustion lente des mêmes bois porte le rendement à 25 %₀ (Karsten).

L'avantage d'une température modérée est également profitable; à une température trop élevée et malgré l'absence d'oxygène, les gaz produits par distillation se chargent de vapeur de carbone, ainsi que l'ont prouvé les expériences de Pettenkofer sur la fabrication du gaz de bois, et il en résulte forcément une diminution importante du charbon, qui s'échappe inutilement dans l'atmosphère sous forme d'oxyde de carbone et d'hydrogène carboné.

Deux systèmes de carbonisation sont employés dans nos forêts; ce sont les meules horizontales et les meules verticales. Nous ne parlerons que du second mode, le plus généralement suivi et le plus facile à décrire. Pour former un meule verticale, dont la forme est toujours celle d'un cône tronqué, on commence par choisir un terrain à l'abri des eaux, bien sec et abrité des grands vents.

Au centre de la meule, on plante trois ou quatre pieux laissant entre eux un vide de 0^m,50 qui servira de cheminée et qu'on remplit de matières très-inflammables qui serviront à l'allumage du feu. Autour de cette cheminée on dispose le bois à carboniser, debout et par couches concentriques, le plus gros bout en bas et l'écorce en dehors, puis les morceaux fendus de façon à laisser le moins de vide possible, le bois doit être incliné à 45° de façon à bien s'arc-bouter et à fournir une inclinaison assez douce pour que l'enveloppe en terre ne glisse pas. Les plus gros morceaux doivent être placés au centre, lieu de plus forte chaleur. On garnit avec des petits bois. On donne à la partie supérieure la forme arrondie et on recouvre le tout d'une couche de gazon et de feuilles sur laquelle on étend enfin un mélange de terre argileuse et de poussier de charbon. On procède ensuite à l'allumage par la cheminée centrale, en donnant accès à l'air par la base de la meule sur tout son pourtour. D'épaisses fumées se dégagent et une condensation de vapeurs se forme à l'extérieur; elle arrive à percer l'enveloppe et à la faire *suer*. Les fumées s'éclaircissent enfin quand la carbonisation centrale est opérée; on renforce le dôme pour ralentir le tirage et la carbonisation du pourtour s'effectue alors par l'action de la chaleur accumulée au centre, qu'on augmente en ouvrant des événements en haut du pourtour, événements qu'on bouche quand ils ne donnent plus qu'une fumée légère et qu'on remplace alors par d'autres, ouverts plus bas, en continuant ainsi jusqu'à la base de la meule.

L'enveloppe finit par rougir au moment du *grand feu*, on bouche alors toutes les ouvertures, la meule est recouverte de terre pour arrêter la combustion, et on attend l'extinction complète pour recueillir le charbon produit, qui dépasse rarement 17 %₀ en poids du bois employé; résultat bien mince pour un travail si chanceux, et qui appelle de grands perfectionnements.

Une telle manière de procéder est en effet bien imparfaite, car les vents plus ou moins violents, l'attention et l'intelligence des ouvriers ont une influence considérable sur le rendement.

On a quelque peu perfectionné ces procédés rudimentaires, en abritant les meules avec des enceintes en bois et clayonnages, on obtient ainsi un tirage plus régulier et le rendement en charbon qui sans ces abris est de 17, %₀ arrive à 23 %₀, dans quelques cas bien dirigés. Ce rendement pourrait cependant être doublé et porté à 35 %₀ en employant la méthode Chinoise, qui consiste à carboniser le bois dans une sorte de douve ou cuve creusée dans la terre, munie d'une cheminée centrale percée de trous à sa base, et d'évents au pourtour.

Les Chinois empilent le bois debout dans cette excavation, ils le recouvrent d'une forte couche de terre, et ils allument par la cheminée comme dans nos meules



verticales, en ne laissant que peu de section aux arrivées d'air du pourtour. Quand la fumée sort transparente, on juge que la combustion des parties volatiles est achevée, et on bouche alors hermétiquement la cheminée et toutes les ouvertures. Au bout de quelques jours on peut recueillir un charbon d'excellente qualité sans aucun fumeron, dur et sonnante, et dont les petits rameaux ont conservé leurs formes. Il est donc désirable de voir ce procédé si simple appliqué en Europe, puisqu'il donne d'excellents produits et un rendement double de celui que nous obtenons, 35 % au lieu de 17.

Le charbon de bois ordinaire renferme environ 7 % de cendres et 7 % d'eau. Sa puissance calorifique est alors de 7000 calories par kilogramme (Péclet), mais il faut avoir soin pour lui conserver toute cette puissance, de bien l'abriter de la pluie et de l'humidité qu'il peut absorber en quantité notable.

Tourbe. — La tourbe est produite par la fermentation et la décomposition des plantes et des végétaux des terrains humides. On la rencontre en bancs compactes sur le bord de certaines rivières, dans les marais, les dépressions de terrain où l'eau séjourne. On la trouve aussi parfois sur les hauts plateaux où elle est formée par la décomposition des mousses qui condensent l'eau de l'atmosphère.

Elle se présente partout en bancs horizontaux parfois fort épais, et placés peu au-dessous de la surface du sol. La hauteur de ces bancs dépasse rarement 10 mètres.

On y rencontre parfois de nombreux débris de l'industrie humaine, médailles, épées de bronze ; qui prouvent son origine toute moderne, et la persistance de sa formation à l'époque actuelle.

On distingue deux variétés de tourbe ; celle de récente formation, d'un brun clair, où les débris végétaux ne sont pas encore entièrement transformés, elle est légère et spongieuse. La tourbe d'ancienne formation est plus foncée et plus compacte.

La succession des couches de tourbe est continue, et la décomposition marche dans ces couches en s'accroissant de haut en bas. On extrait la tourbe de deux façons différentes qui sont commandées par la situation immergée ou émergée de la tourbière.

Quand la tourbière ne peut être desséchée, il faut avoir recours à un bateau dragueur, qui rejette la tourbe extraite dans des barques, qui la transportent sur un terrain sec, où on la moule en briquettes.

Quand au contraire il est possible de dessécher la tourbière, on creuse des canaux d'écoulement et on extrait ensuite la tourbe en mottes, au moyen de louchets. La principale difficulté à vaincre dans cette industrie, consiste dans le dessèchement des briquettes et des mottes. De nombreuses tentatives de dessèchement en étuve, par la chaleur de combustion d'une partie de la tourbe, ont donné lieu à des résultats peu encourageants. Il faut bien remarquer en effet que la tourbe à l'état primitif contient souvent 90 % d'eau, qu'après un drainage, elle en contient encore 84 %. Ainsi, dans tout procédé où l'on opérerait sur la matière première à l'état naturel, il faudrait extraire et préparer 10 tonnes de tourbe naturelle, pour en obtenir une de sèche.

Il faut donc nécessairement opérer sur de la tourbe desséchée naturellement par son exposition à l'air. Or, cette dessiccation naturelle est très-lente et parfois impossible, à cause de la trop grande épaisseur des mottes. Il faudrait donc extraire la tourbe par tranches minces offrant une grande surface d'évaporation. Ce procédé essayé en Irlande, y a obtenu un succès complet, grâce à l'emploi de machines spéciales mues par la vapeur et supportées par des voies de fer mobiles.

Le même procédé est employé en Allemagne aux environs de Munich, il y réussit également bien.

Quand cette dessiccation est ainsi obtenue, on possède un combustible qui peut être employé en fragments sur des grilles à gradins, comme la sciure de bois. Mais pour d'autres dispositions de foyers, il est nécessaire de comprimer la tourbe en poudre desséchée, et d'en former des briquettes moulées; ce qui s'obtient facilement en employant des presses analogues à celles qu'on emploie pour agglomérer les menus de houille.

La puissance calorifique de la tourbe desséchée est, d'après M. Regnault, d'environ 5300 calories.

Les tourbes longtemps exposées à l'air renferment encore 30 % d'eau et leur puissance calorifique n'est que d'environ 3750 calories (Péclet).

Les tourbes superficielles contiennent parfois jusqu'à 20 % de cendres. Les couches plus profondes n'en donnent souvent que 7 à 8 % et sont naturellement les plus estimées. En pratique on admet qu'il faut deux tonnes de tourbe, non desséchée artificiellement pour égaliser l'effet calorifique d'une tonne de houille, sous les générateurs de vapeur.

La tourbe brûle avec flamme en donnant une fumée épaisse et une odeur fort gênante; inconvénients qu'il faut éviter dans certains cas et qu'on réussit à supprimer en opérant la carbonisation de la tourbe.

Charbon de Tourbe. — La tourbe carbonisée comme le bois, en meules ou en fosses, donne un charbon léger, spongieux, qui contient beaucoup de cendres. Il brûle lentement en produisant une flamme légère et ne dégage aucune fumée ni aucune odeur. Il peut donc être employé dans les foyers domestiques, où il donne une combustion prolongée, grâce à la couche de cendres qui l'enveloppe en le protégeant contre l'accès facile de l'oxygène.

Les procédés de carbonisation de la tourbe offrent une grande analogie avec ceux employés pour obtenir le charbon de bois. On en forme le plus souvent des meules verticales, et on dirige l'opération comme il a été dit plus haut.

Il est cependant nécessaire de prendre plus de précautions pour le démontage de la meule, car le charbon de tourbe est difficile à éteindre et à extraire, parce qu'il s'émiette facilement, en donnant un poussier sans valeur. Le procédé des meules verticales donne un rendement moyen de 25 % avec des tourbes sèches.

Ce rendement pourrait être augmenté et porté à 50 % en employant des tourbes noires et en les carbonisant dans des fosses analogues à celles que les Chinois emploient pour le charbon de bois. Ces fosses que nous avons décrites plus haut, sont employées en Angleterre où elles procurent un rendement élevé et une plus grande facilité pour la conduite régulière de la carbonisation de la tourbe.

La puissance calorifique du charbon de tourbe varie avec la quantité de cendres qu'il contient, quantité qui peut s'élever à 35 %. Celui d'Essone en renfermant 18 % peut produire environ 6600 calories par kilogramme (Péclet).



II. — COMBUSTIBLES FOSSILES

Lignites. — Les combustibles fossiles comprennent les lignites, les houilles et les anthracites. Les lignites se rencontrent dans les terrains postérieurs à la craie. Les houilles et anthracites lui sont au contraire antérieurs.

Les couches de lignites sont principalement composées de troncs d'arbres parfaitement reconnaissables; on y distingue facilement des aunes, érables, noyers, sapins, etc. Ces troncs sont généralement empilés en couches horizontales qui paraissent avoir été formées par d'immenses inondations précédées de tempêtes dont la violence a dû renverser des forêts entières, ces débris recouverts par les eaux ont subi une transformation analogue à celle que nous observons dans la formation de la tourbe, qui renferme souvent des troncs d'arbres fossiles comparables aux lignites.

Ce combustible brûle facilement en donnant une flamme longue, il produit une fumée noire d'une odeur forte et désagréable. Il donne un charbon analogue à celui du bois, non collant et sans boursofflures.

Les lignites perdent promptement leur principes combustibles par l'exposition à l'air et la dessiccation.

La puissance calorifique des lignites est très-variable, son minimum est d'environ 5,000 calories et le maximum peut atteindre 8000 calories, soit une puissance calorifique moyenne égale à 6,500 calories par kilogramme.

Houilles. Anthracites. — La houille est formée d'amas de végétaux, et on a fort justement dit que le charbon de terre n'était que du charbon de bois provenant des forêts primitives.

Il semble difficile, à première vue, d'admettre cette origine, car les houilles laissent rarement apercevoir des traces d'organisation végétale. Un examen plus attentif conduit cependant à cette constatation pour certaines variétés de houille, qui observées au microscope, présentent tous les caractères de la plante fossile.

En explorant les bancs de schiste ou de grès qui supportent ou qui recouvrent les couches de houilles, on reconnaît facilement entre les feuilletés de schiste, des débris de plantes, fougères, lycopes, assez bien conservés. L'empreinte de chaque feuille se reconnaît dans la roche et la feuille elle-même est transformée en une mince couche de charbon. Plus on examine un point rapproché de la couche de houille, et plus les pellicules charbonneuses sont multipliées, jusqu'à ce qu'enfin la roche interposée venant à disparaître, il ne reste plus que les feuilletés de charbon réunis et confondus formant un banc compacte de houille plus ou moins épais. La houille est donc bien formée par une accumulation de plantes ayant subi des fermentations, des compressions et des effets calorifiques dont l'ensemble a lentement produit une transformation profonde des tissus végétaux.

On désigne sous le nom d'anthracites, certaines variétés de houille plus anciennes de formation, où cette transformation des tissus organiques est arrivée à sa phase extrême.

Les anthracites ne renferment pas d'éléments volatils et sont toujours entièrement privés de débris végétaux. Leur puissance calorifique égale 8000 calories par kil. en moyenne.

Leur combustion est souvent difficile à cause de leur facilité à décrépiter au feu en se réduisant en petits fragments qui s'opposent au passage de l'air

comburant, aussi ne sont-ils guère employés en Europe. Les américains du Nord ont cependant réussi à employer l'antracite dans toutes leurs industries aussi bien qu'au chauffage domestique, à l'aide de foyers spéciaux qu'on pourrait certainement introduire en Europe.

Houille. — Les houilles se divisent en trois classes : houilles sèches, houilles maigres et houilles grasses. La houille grasse présente une cassure brillante d'un beau noir, elle a un éclat gras bien accusé, elle brûle rapidement en dégageant une flamme longue et blanche, elle se gonfle, se ramollit et s'agglutine de manière à ne former qu'une seule masse poreuse. Le coke qui en provient est de la meilleure qualité, léger et poreux, il ne laisse que peu de résidus en cendres après son entière combustion. La grande porosité du coke que fournissent les houilles grasses, leur a valu le nom de houilles à coke boursoufflé.

La houille maigre présente une cassure moins brillante et mélangée de parties mates, elle est plus dure que la houille grasse et s'enflamme moins aisément, elle s'agglutine faiblement sans augmenter de volume. Elle donne un coke compacte et de bonne qualité dont l'aspect particulier lui a fait donner le nom de houille à coke fritté.

La houille sèche est plus lourde que les variétés précédentes, elle est aussi plus dure, présente une cassure éclatante quoique moins foncée. Elle s'enflamme difficilement, brûle avec une flamme bleuâtre, et se contracte au feu au lieu d'y gonfler comme les houilles précédentes. Elle fournit un coke très-compacte, lourd, ne brûlant qu'à une haute température, laissant souvent beaucoup de cendres, et dont la forme a fait donner à cette houille le nom de houille à coke pulvérulent. Ces diverses variétés de houille peuvent être distinguées au moyen d'essais au creuset. A cet effet on réduit la houille en poudre et on la chauffe au creuset couvert. La poudre de houille grasse se coagule, entre en fusion pâteuse en augmentant considérablement de volume, et se moule de manière à épouser la forme du vase. La houille maigre se coagule sans augmentation et parfois même avec diminution de volume, et produit du coke en masse frittée assez ferme. La houille sèche ne se coagule pas, et laisse un coke en poudre sans cohésion. Les houilles ont d'autant plus de valeur qu'elles donnent moins de cendres. Il y a sous ce rapport des différences considérables. Ainsi certaines houilles laissent à peine 2 % de cendres, et d'autres variétés en produisent 20 %. Pour essayer la houille sous le rapport de son contenu en cendres il suffit d'en brûler une quantité connue et de peser le résidu terreux obtenu. La nature des cendres de houilles est assez variable, elles sont presque toujours argileuses; on y rencontre aussi de l'oxyde de fer, du carbonate et du sulfate de chaux.

La composition des cendres est souvent telle qu'elles fondent pendant la combustion de la houille et forment un verre, laitier ou mâche-fer qui obstrue la grille.

Les cendres constituent une véritable perte puisqu'elles sont composées d'éléments incombustibles ne pouvant fournir aucune quantité de chaleur; elles entraînent de fréquents tisonnages qui font tomber une certaine partie du charbon en menus. Les mâche-fers ont un effet encore plus fâcheux; ils se soudent aux parois des foyers et aux barreaux des grilles, qu'ils détruisent rapidement, ils forcent d'ailleurs à nettoyer le feu par dessus la grille, ce qui donne lieu à des introductions d'air froid par l'ouverture des portes de foyers, qui refroidit les surfaces de chauffe et fatigue leurs rivures.

L'oxyde de fer contenu dans les cendres de houille, provient de la pyrite de fer qui se rencontre fréquemment dans ce combustible et nuit beaucoup à sa qualité.



La pyrite se trouve disséminée en petits cristaux à peine visibles, entre les feuillets de la houille.

Par le contact de l'air humide la pyrite se change en sulfate, et il en résulte une expansion qui fait tomber la houille en poussière. Quand cette transformation se produit dans les mines ou à bord des navires chargés de houille, le dégagement de chaleur produit par cette combinaison peut être assez élevé pour que la houille prenne feu, ce qui peut causer d'épouvantables explosions.

Une proportion trop grande de pyrites dans la houille est une source d'inconvénients graves pour les barreaux des grilles et les autres parois des foyers. Les pyrites dégagent en effet au feu des vapeurs de soufre, qui au contact des barreaux chauffés au rouge, donnent naissance à du monosulfure de fer très-fusible. Cette attaque est parfois assez puissante pour donner naissance à des stalactites à la partie inférieure des grilles. Ces vapeurs sulfurées attaquent et corrodent même les fonds de chaudières.

La quantité d'eau hygrométrique contenue par les houilles est généralement peu élevée, elle peut n'être parfois que de 1 %, mais elle atteint dans certains cas exceptionnels jusqu'à 18 %.

La composition moyenne des houilles sèches peut être représentée par carbone 80, hydrogène 8, azote 1, oxygène 6, soufre 1, cendres 4 = 100.

La houille est vendue en fragments de grosseur différente dont la dimension influe beaucoup sur la valeur. On appelle tout-venant, la houille telle qu'elle sort de la mine et sans aucun triage; les gros morceaux sont désignés sous le nom de roche ou gros; ceux de la grosseur du poing forment la gaillette, les plus petits la gailleterie; enfin les très-petits morceaux constituent le menu, le fin et le poussier.

La houille étant en général d'autant plus pure qu'elle est en plus gros morceaux, le prix du gros est plus élevé que celui de la gaillette, et le menu est généralement à bas prix, car outre les impuretés qu'il contient, il est d'une conservation difficile et il se comporte mal sur les grilles, qu'il encombre sans laisser passer assez d'air pour sa bonne combustion. On peut aujourd'hui utiliser les menus en les agglomérant sous forme de briquettes qui se comportent parfaitement bien au feu, et donnent des résultats calorifiques aussi élevés que les gros morceaux.

Le poids de l'hectolitre de houille varie suivant la grosseur des morceaux, leur inégalité, la manière de mesurer, l'humidité plus ou moins forte, et enfin la provenance.

Voici quelques chiffres moyens :

Houille du Creuzot	=	79	kilog.	l'hect.
Houille de Mons	=	80	—	—
Houille de Decize	=	83	—	—
Houille de Saint-Etienne	=	84	—	—
Houille de Lataupe	=	85	—	—
Houille de Combelle	=	86	—	—
Houille de Blanzay	=	87	—	—
Houille de Labarthe	=	88	—	—

Les quantités de cendres que produisent les houilles dans les foyers industriels et domestiques excèdent de beaucoup celles qui sont données par les analyses chimiques, à cause des escarbilles qui se trouvent mélangées aux substances minérales.

Voici un tableau qui résume une série d'expériences faites avec soin à la manufacture des tabacs de Paris.



Quantité de cendres, scories et escarbilles produites par différentes houilles à l'état de gaillettes :

Houille nouvel Anzin	0,007 par kilog.
Houille de Newcastle.	0,071 —
Houille ancien Anzin.	0,079 —
Houille de Denain.	0,082 —
Houille de Flenu	0,095 —
Houille de Mathon	0,095 —
Houille de Decize	0,101 —

Les houilles extraites et conservées à l'air libre subissent parfois de profondes modifications qui en altèrent la puissance calorifique dans une proportion fort élevée. Depuis longtemps l'expérience des usines à gaz a fait ressortir une différence notable au point de vue de la production en gaz, entre les houilles fraîchement extraites et les houilles conservées.

De même dans la fabrication du coke, on a observé que les houilles conservées deviennent moins collantes et arrivent à se comporter comme des charbons maigres.

Mais à côté de ces changements dans ses propriétés et sa nature, la houille paraît en outre diminuer de poids dans une proportion notable. Cette perte se produit par une sorte de destruction spontanée de la substance de la houille; il s'en dégage des gaz combustibles. Cette décomposition se produit surtout très-activement quand la température s'élève et lorsque les houilles sont amassées en tas volumineux, ou sous la forme de menus.

On a même constaté (Grundmann) qu'une houille qui était restée neuf mois sur le carreau de la mine avait perdu 58 % de sa puissance calorifique primitive. Ce résultat ayant rencontré beaucoup d'incrédules, les expériences furent reprises en 1872, en Allemagne, par le D^r Warrentrapp qui constata que l'anhracite est la variété qui souffre le moins de son exposition à l'air. En expérimentant sur des houilles le D^r Warrentrapp, put se convaincre qu'après quelques mois d'exposition à l'air, leur faculté de produire du gaz avait diminué de 45 % et que la puissance calorifique avait perdu 47 %; tandis que la même houille couverte, n'avait perdu que 24 % en puissance productive de gaz, et 12 % seulement en pouvoir calorifique; M. Commines de Marsilly, directeur des mines d'Anzin, s'est également occupé de cette importante question : Deux gros morceaux de houille de Bellevue, extraits depuis six jours, arrivant directement de la fosse, ont été pulvérisés rapidement; la poussière a été placée dans un grand vase que l'on a recouvert d'une cloche de forme conique; au bout de douze heures, en enlevant la cloche et en approchant une allumette enflammée, il se produisait une flamme longue et éclairante. L'expérience a été répétée avec succès sur les charbons de Ferrand et de l'Agrappe (Mons). Quand ces charbons avaient été *plusieurs jours* exposés à l'air, il ne se dégageait plus de gaz inflammable.

Quand cette exposition a duré *plusieurs mois*, on ne retire plus de gaz hydrogène carboné, même en chauffant la houille jusqu'à 300°.

Ainsi, 500 gr. de houille du Nord de Boussu ont été réduits en poussière et laissés pendant cinq mois exposés à l'air; au bout de ce temps, chauffés au bain d'huile jusqu'à 300°, il s'est dégagé du gaz, mais ce gaz n'était plus inflammable. Des expériences semblables faites sur les charbons gras de Bellevue et d'Ellonges, ont donné les mêmes résultats; le charbon frais donnait toujours du gaz inflammable et le charbon vieux n'en donnait jamais.

Les expériences qui précèdent sont suffisantes pour faire apprécier la grande importance qu'on doit attacher à ne se servir que de charbons conservés à



l'abri de l'air et de l'humidité atmosphérique. On ne saurait donc prendre trop de soins pour se procurer d'abord du combustible fraîchement extrait de la mine, et ensuite pour son emmagasinement méthodique, afin d'éviter les pertes énormes mises en lumière par les expériences ci-dessus; expériences que nous avons cru devoir décrire longuement afin d'en faire ressortir l'importance exceptionnelle au point de vue de nos études qui doivent surtout porter et insister sur l'économie des combustibles.

La puissance calorifique des houilles moyennes est évaluée à 8000 calories par kilogramme (Péclet).

Agglomérés. — Les expériences que nous venons de décrire établissent d'une façon très-nette qu'en peu de temps les menus charbons perdent la plus grande partie de leur pouvoir calorifique; de plus leur état pulvérulent s'oppose énergiquement au passage de l'air entre les barreaux des grilles de foyers; il en résulte une combustion très-imparfaite, donnant beaucoup de fumée et produisant une grande quantité de gaz oxyde de carbone, qui s'échappe sans s'enflammer en donnant lieu à une perte considérable, puisqu'il contient environ les $\frac{2}{3}$ de la puissance du carbone qui lui est combiné. Tous ces inconvénients bien constatés avaient fait baisser le prix des menus à des taux tels, qu'on préférerait éviter les frais de transport et que le carreau des mines était autrefois envahi par de véritables montagnes de menus et de poussier de houille. La plus grande partie n'était même pas remontée au jour, et servait de remblais pour remplir et consolider les galeries des mines.

On faisait ainsi d'énormes pertes allant parfois à 20 et 25 % du cube mis en œuvre.

Le haut prix des charbons fit cependant songer à l'immensité des pertes qu'on subissait ainsi volontairement depuis des siècles, et après de nombreux essais on est enfin parvenu à pouvoir utiliser tous ces menus en les comprimant dans des moules, avec ou sans mélange de brai, sous la forme de briquettes cylindriques ou cubiques, d'un arrimage facile, et dont la combustion excellente donne des résultats calorifiques très-élevés.

La conservation de ces briquettes agglomérées est facilement assurée pour un temps suffisant, sans qu'il soit besoin de soins exceptionnels.

Ainsi, en Angleterre, on fabrique des briquettes destinées aux chemins de fer de l'Inde, qui pendant une longue traversée ne subissent aucune détérioration.

La conservation et la puissance calorifique des agglomérés sont tellement bien assurées que certaines industries, les compagnies de bateaux à vapeur, les chemins de fer, etc., donnent parfois la préférence aux briquettes sur le grès charbon. L'arrimage en est plus facile et moins encombrant, elles ne donnent que peu de menus et de poussier; enfin on peut même augmenter leur puissance calorifique dans une forte proportion en y mélangeant des huiles lourdes et des pétroles bruts. La compagnie Transatlantique française a obtenu de ce dernier mélange, des résultats excellents et elle se propose de développer cette fabrication.

On peut par cet ingénieux procédé utiliser les combustibles les plus pauvres et les plus difficiles à brûler, tels que les lignites et les anthracites qui se délitent sur les grilles. Les houilles en couches minces alternées avec des couches de schiste, ont pu être exploitées; il a suffi de les débarrasser par un simple lavage, de ces éléments étrangers. On a pu aussi utiliser complètement l'immense quantité de menus et de poussier qui se forme au fond des cales des navires affectés aux transports de houille.

Des usines spéciales ont été installées dans ce but dans la plupart de nos

grands ports et elles ont donné d'excellents résultats. La marine française exige des agglomérés durs, sonores, homogènes, peu hygrométriques, à peu près sans odeur, fabriqués avec des menus de récente extraction, lavés avec soin; ils doivent renfermer comme matière agglomérante 8 % de brai sec, leur poids ne doit pas dépasser 8 kilogrammes, et leur densité doit être au moins égale à 1,2. Ils doivent s'allumer facilement et brûler avec un flamme vive et claire, sans se désagréger au feu, et ne produire qu'une légère fumée grise. Soumis pendant vingt-quatre heures à une température de 60° dans une étuve, ils ne doivent pas éprouver de ramollissement sensible; ils doivent avoir une puissance calorifique aussi élevée que les meilleures houilles en roches; enfin la proportion des cendres et des résidus de combustion ne doit pas excéder 10 %.

La condition de ramollissement est essentielle pour la marine, par suite de la température élevée des soutes à charbon.

Les briquettes susceptibles de se ramollir, offriraient le double inconvénient de se souder entre elles et de dégager des huiles volatiles très-nuisibles à la santé des chauffeurs.

Les compagnies de chemins de fer, dont la consommation en agglomérés est considérable, demandent simplement des briquettes solides, donnant peu de déchet et tenant bien au feu. Les briquettes préparées au brai sec avec des houilles bien lavées, l'emportent par leur effet calorifique sur le coke et la houille en roche de même provenance. Cette supériorité tient à ce que les briquettes permettent de marcher avec une couche mince dans le foyer, ce qui rend la combustion complète, tandis qu'il faut accumuler le coke sur une forte épaisseur, ce qui produit de l'oxyde de carbone qui s'échappe sans brûler en perdant les $\frac{2}{3}$ de la puissance de son carbone.

L'agglomération peut s'obtenir de deux manières; par compression simple pour les menus de houilles grasses et collantes; ou à l'aide d'un ciment destiné à relier les différentes parties lorsqu'il s'agit des lignites, des houilles maigres et des anthracites.

On emploie généralement à cet usage le brai sec, qu'on obtient en débarassant le goudron, par une température de 300°, de toutes les matières volatiles à froid.

Le brai sec étant devenu rare et cher, on a dû chercher d'autres produits pouvant remplir l'office de ciment agglutinant. Un chimiste français, M. Vassart établi en Angleterre, emploie avec un grand succès le silicate de soude, qui présente de nombreux avantages; résistance au choc, à l'humidité et absence de fumée, tout en donnant une puissance calorifique très-élevée.

Pour satisfaire aux usages industriels, les agglomérés doivent réaliser plusieurs conditions essentielles; ils doivent être durs et tenaces, faciles à arrimer et d'un poids assez faible pour qu'on n'ait pas à les concasser avant leur emploi.

La pression donnée par la machine de compression, doit atteindre au moins 100 kilogrammes par centimètre carré.

Au point de vue de l'uniformité de la densité, la forme la plus avantageuse est évidemment la forme circulaire cylindrique; et dans le cas où on emploie des moules rectangulaires il convient d'en arrondir les angles.

La compression s'opère par des machines à moules ouverts, ou à moules fermés. Les appareils à moules fermés dus à MM. David, Jarlot, Marsais, Mazeline, Révollier, etc., permettent de pousser la pression jusqu'à 450 kilogrammes par centimètre carré. Les uns donnent des briquettes de 5 à 10 kilogrammes, d'autres donnent des blocs de 650 kilogrammes, qu'il faut ensuite débiter au marteau. Les appareils à moules ouverts, dus à M. Evrard, fournissent des briquettes cylindriques de 0,08 diamètre, homogènes, d'une densité de 1,36, rarement atteinte par les appareils à moules fermés.

Rendement des machines à briquettes.

		chevaux-vapeur par tonne et par heure.			
David.	4				
Marsais	5	—	—		—
Jarlot.	6	—	—		—
Mazeline	6	—	—		—
Revollier	6	—	—		—
Evrard	7 à 8	—	—		—

La machine David est donc celle qui demande le moins de force et qui paraît la plus avantageuse pour les petites briquettes.

La puissance calorifique des agglomérés de houille étant au moins égale à celle de la houille moyenne, on peut l'estimer en général à 8000 calories par kilogramme.

Briquettes perforées. — Ces briquettes destinées au chauffage domestique par foyers découverts, n'ont qu'un avantage, c'est de tenir longtemps au feu; mais l'abondance de cendres qu'elles produisent en diminue le pouvoir calorifique, qui, par cette cause ne doit pas être supérieur à celui du coke de gaz = 6000 calories, leur fabrication est identique à celle des agglomérés.

Charbon de Paris. — On désigne sous ce nom un combustible formé par l'agglomération et la carbonisation de débris divers de bois, tannée, poussier de charbon de bois et de tourbe, sciure de bois, débris de coke et de houille. Ces matières sont d'abord carbonisées, puis broyées et réduites en pâte mélangée de goudron. La pâte charbonneuse est ensuite moulée, par procédés mécaniques, sous forme de petits cylindres. Ces cylindres moulés sont ensuite introduits dans des caisses en fonte qu'on enfourne dans des fours disposés pour être chauffés par les gaz qui s'échappent de la pâte pendant sa calcination, qui dure environ douze heures. Le charbon ainsi obtenu est peu friable et peut être transporté à de grandes distances sans un déchet notable. Il s'embrase facilement quand il est conservé dans un lieu bien sec, il brûle sans flamme ni fumée, avec une grande lenteur en se recouvrant d'une épaisse couche de cendres qui le protègent contre l'accès direct de l'air comburant. Une fois allumé il continue à brûler à l'air. Cette lenteur de combustion rend le charbon de Paris particulièrement propre aux usages domestiques. Il produit de 20 à 22 % de cendres, ce qui diminue fortement son pouvoir calorifique et le porte tout au plus à 6000 calories par kilogramme.

Carbonisation des houilles. Coke. — Le coke ne diffère chimiquement de la houille que par l'absence de matières volatiles enlevées par distillation ou par carbonisation. Il peut être produit par deux procédés généraux très-différents. Dans le premier on soumet la houille à une distillation conduite de façon à recueillir les produits volatils expulsés de la houille, dont les éléments forment le gaz-lumière; ce qui reste dans les cornues est un résidu connu sous le nom de coke de gaz. Dans le second cas on laisse souvent perdre les gaz produits, et parfois on les utilise à chauffer, par un circuit en retour, la sole des fours de carbonisation. On obtient par ce second procédé, du coke de four, dont la puissance calorifique est notablement plus élevée que celle du coke de gaz, il est aussi plus lourd, et il brûle plus lentement.

Le coke de four est employé dans les industries métallurgiques, parce que la plus grande partie du soufre et du phosphore en a été chassée par la chaleur, et

que ces corps sont fort nuisibles dans certaines opérations métallurgiques. La carbonisation procure en outre un combustible brûlant sans fumée, qualité fort estimée pour les locomotives et quelques industries placées dans des centres d'habitation.

A la suite des données acquises sur la présence des schistes argileux, des pyrites, etc., dans les houilles on a été amené à réaliser dans les procédés de carbonisation un progrès essentiel : la préparation de la houille par voie humide. Cette amélioration présentait un grand intérêt pour la métallurgie; car elle constitue encore la meilleure méthode de désulfuration de la houille.

Dans la fabrication du coke en grand, on a affaire non-seulement aux matières minérales de la houille, mais encore aux schistes des parois, aux pyrites des filons, qu'il est impossible d'éliminer complètement dans l'extraction.

Il est donc fort rationnel d'avoir appliqué à ces produits le traitement employé depuis des siècles pour la préparation par voie humide des minerais. La préparation humide ou lavage de la houille est fondée sur la différence de densité existant entre la houille pure et les matières étrangères qui l'accompagnent. Pendant que la densité de la houille n'est que de 1, celle du quartz, du spath calcaire, des schistes, est de 2 à 2,7, celle des pyrites de 3 à 4. Il en résulte que dans un courant d'eau, ces dernières matières seront entraînées moins loin et se déposeront plus tôt que la houille.

D'autre part, si on les jette dans un réservoir, en vertu de leur densité plus grande, elles atteindront le fond plus tôt que la houille. On effectue donc à l'aide de la simple différence de densité et de l'action de l'eau un triage mécanique, produit maintenant par de nombreux appareils laveurs tels que ceux de Baetmadoux, Lacretelle, Meynier, Bessemer, etc.

Nous n'avons pas à traiter ici les procédés de fabrication du coke de gaz lumière, obtenu par distillation en cornues. Nous ne devons nous occuper que de la fabrication par carbonisation en meules et en fours.

Dans les anciennes meules, la houille est réduite en morceaux d'un décimètre cube, qu'on range sur un plan horizontal, de façon à former un cône tronqué, qu'on recouvre de terre humide et qu'on dispose à peu près comme les meules de bois dans les forêts. Au bout de quelques jours de feu, on obtient 40 % de coke. Mais ce procédé ne peut être appliqué qu'à des houilles grasses. On peut cependant le perfectionner et le rendre propre à la carbonisation des houilles sèches en employant une disposition due à Wilkinson; consistant dans l'adjonction d'une cheminée centrale en maçonnerie, percée de trous à sa base. Le feu est mis à la houille par cette cheminée et les produits de la combustion suivent exactement la même marche que celle décrite pour les fosses chinoises à carboniser les bois, le courant d'air frais marche donc du combustible extérieur au combustible central, cet air étant privé d'oxygène en arrivant vers le centre ne peut oxyder ni brûler trop rapidement cette partie centrale. Aussi on obtient par ce procédé un rendement qui s'élève à 60 %.

Carbonisation en fours. — Les fours qu'on emploie à cet usage sont construits en suivant deux principes différents. Ils sont construits sans circulation et sans utilisation de la chaleur des gaz produits; ou bien cette chaleur est utilisée pour chauffer la houille à carboniser au moyen de conduits passant sous la sole du four et dans ses parois verticales.

Les fours sans circulation rendent environ 45 % et les fours à soles chauffées donnent en moyenne 75 %.

Les méthodes les plus perfectionnées donnant encore une perte de 25 % du poids de la houille, il est fort désirable de voir les emplois du coke restreints aux seules industries qui ne peuvent s'en passer, et on doit chercher par tous



les moyens pratiques, à remplacer ce coûteux combustible par la houille ou les agglomérés. La substitution de ces derniers combustibles au coke anciennement consommé par les locomotives, a permis aux compagnies des chemins de fer français, de réaliser près de 50 % d'économie sur la dépense du combustible, (Jacqmin).

Cette économie considérable ainsi officiellement bien constatée, indique assez toute l'importance des bénéfices à réaliser de ce côté pour beaucoup d'industries employant le coke sans une nécessité bien reconnue. Le mètre cube de coke de four pèse ordinairement 400 kilogram. A Paris le coke de gaz pèse de 300 à 350 kilogram. le mètre cube.

La composition des cokés dépend des houilles dont ils proviennent. On peut compter cependant qu'ils contiennent en général 85 % de carbone.

La teneur en cendres est très-variable elle s'abaisse à 2 %, et atteint parfois 28 % pour les cokés de gaz de Paris, ce qui est très-élevé.

D'après M. de Marsilly, le coke convenablement éteint ne contient que 2 à 3 % d'eau. Complètement sec il n'absorbe que 2 % d'humidité dans l'air humide.

Mais ce qui est fort remarquable, c'est qu'il peut absorber par arrosage ou immersion jusqu'à 51 % d'eau.

On comprend toute l'importance de ce fait pour les achats de coke traités au poids, et la diminution considérable causée par l'eau à la puissance calorifique du coke humide.

On admet que la puissance calorifique du coke sec est égale à la quantité de carbone qu'il contient. Les cokés de four produisant de 2 à 15 % de cendres leur puissance calorifique varie de 6800 à 7900 calories le kilogramme, soit en moyenne 7350.

La puissance calorifique du coke de gaz de Paris peut à cause de sa grande teneur en cendres, 28 %, s'abaisser jusqu'à 5800 calories seulement par kilogram.

Nous admettons 6000 calories par kilogram., comme pouvoir calorifique moyen du coke de gaz.

Combustibles liquides. Pétroles bruts (1). — On admet généralement que le pétrole est d'origine organique, et qu'il aurait été produit par la décomposition des végétaux. Cette opinion est fondée sur la composition chimique du pétrole qui contient des carbures d'hydrogène en quantité considérable, tandis que les proportions d'oxygène et d'azote y sont faibles. Cependant si le pétrole avait bien une origine organique et s'il s'était réellement formé dans les gisements où on l'exploite, on devrait rencontrer dans ces gisements une grande quantité de débris organiques. Or, c'est précisément ce qui n'a pas lieu. Un savant chimiste russe, M. Mendeleeff, après un examen microscopique des pétroles récemment extraits n'y a même jamais constaté la moindre trace de tissus organiques ou cellulaires, et il s'est convaincu par de longues études faites en Europe et en Amérique, que le pétrole est un produit d'origine volcanique et minérale.

Un savant géologue français, M. de Chancourtois, a été conduit à la même hypothèse, par l'étude des directions des alignements des principaux gîtes de naphte, de pétrole et d'asphalte, des diverses parties du globe, qui suivent un tracé conforme aux théories géologiques de M. Elie de Beaumont.

Une expérience récente, due à un chimiste français, M. Byasson, vient également appuyer cette hypothèse. M. Byasson prend un tube de fer qu'il chauffe

(1) Consulter au sujet des pétroles raffinés, des huiles minérales et des goudrons, les articles de MM. Servier et Guerout, sur l'*Éclairage* et la *Teinture*.

au rouge blanc, après y avoir introduit du fer; il fait passer à travers ce tube rougi un mélange de vapeur d'eau, d'acide carbonique et d'hydrogène sulfuré, et il obtient en opérant ainsi, une certaine quantité de carbures liquides, comparables en tout au pétrole naturel.

Le pétrole d'Amérique au moment où il sort du sol, possède une température de 30°. Sa densité varie entre 0,8 et 0,9. Il est ordinairement trouble, sa coloration est brune. L'odeur forte et pénétrante qu'il exhale provient des combinaisons sulfurées, phosphorées et arsénicales associées au pétrole dont l'odeur masque celle de l'huile. Le pétrole du Canada d'une teinte foncée est surtout remarquable par sa viscosité et son odeur repoussante. Le pétrole de Pensylvanie généralement plus léger, est plus transparent et plus fluide; sa couleur varie du vert au brun olivâtre. En certains points il est même naturellement clair et limpide, et on peut l'employer à l'éclairage, sans épuration. Certaines variétés d'huiles de pétrole ne fournissent pas de gaz, tandis que d'autres en dégagent à 40°, et même à la température ordinaire.

Ces gaz sont très-inflammables et donnent avec l'air des mélanges détonants qui peuvent se former rapidement par simple évaporation, comme le prouvent les résultats suivants : Du pétrole brut de Pensylvanie, exposé à l'air libre dans une chambre maintenue à 16° avait perdu de son poids, 25 % en huit jours, 30 % en quinze jours, et 35 % en six semaines. A partir de ce moment le poids resta constant.

Dans un local à 7° seulement, la perte fut de 6 % le premier jour, de 20 % en quatorze jours et resta ensuite insensible. Ces expériences mettent en évidence le danger que peuvent courir les personnes qui pénètrent avec une lumière dans les dépôts de pétrole.

Une autre série d'accidents redoutables peut être causée par la grande dilatation des huiles de pétrole, dont le coefficient est beaucoup plus fort que celui des autres liquides (S. C. Deville).

Il résulte de là qu'il est essentiel de ne pas remplir entièrement les barils destinés aux transports du pétrole. Car si le liquide occupait tout l'espace par un temps froid, il arriverait forcément que par un temps chaud, le pétrole venant à se dilater avec une force énorme, romprait en éclats les fûts les plus solides et que la chaleur produite par l'explosion du fût serait plus que suffisante pour enflammer le pétrole et amener un embrasement général du dépôt tout entier. Nous avons été personnellement témoin de deux accidents terribles produits dans le port du Havre sur des chalands chargés de pétrole, dont l'explosion eut lieu à quelques jours d'intervalle pendant les grandes chaleurs et tous deux à la même heure, midi environ, instant du maximum de rayonnement solaire, et il ne nous paraît pas douteux que la dilatation du pétrole n'ait seule pu causer ces redoutables incendies d'une violence inouïe.

Le pétrole et les huiles minérales se brûlent dans des foyers spéciaux dont le principe est dû à M. Audoin, qui fit les premiers essais de chauffage industriel en France. Cet appareil modifié par S. C. Deville, consiste en une plaque de fonte qui prend la place de la porte du foyer. Cette plaque est percée de fentes verticales donnant accès à l'air comburant; l'huile distille sur la paroi intérieure de la plaque munie de rigoles où elle s'écoule en filets réglés en vitesse et en volume au moyen de robinets.

L'air qui afflue dans le foyer détermine la production d'une flamme vive et courte, dont la température est fort élevée, car à une distance assez grande en dehors de cette flamme on peut encore porter le platine au rouge.

Les essais faits à bord du *Puebla*, ont montré que ces foyers sont d'une conduite facile et qu'ils procurent une vaporisation abondante et rapide,



S. C. Deville, a fait sur les machines locomotives du chemin de fer de l'Est, des essais qui ont obtenu un succès complet.

Quand les mécaniciens savent manœuvrer le robinet d'introduction de l'huile et le clapet d'air, on obtient des résultats véritablement extraordinaires. Aucune fumée ne sort de la cheminée, la vaporisation marche avec une grande facilité et augmente avec la vitesse de la machine.

Il est infiniment plus facile de régler la combustion des huiles de pétrole que celle de la houille, et on arrive ainsi à des résultats industriels très-favorables à l'emploi du pétrole. S. C. Deville estime qu'avec 1 kilogramme d'huile de pétrole on peut vaporiser 16 kilogrammes d'eau, c'est-à-dire le double de ce qu'on obtient avec la houille.

La puissance calorifique des huiles de pétrole est d'environ 10,000 calories par kilogramme (S. C. Deville).

Combustibles gazeux. — Il est prouvé par les résultats de nombreuses analyses, qu'il est impossible de brûler les combustibles solides, de manière à transformer tout leur carbone en acide carbonique, sans appeler dans le foyer beaucoup plus d'air que n'en exigerait théoriquement cette transformation. Plusieurs causes en effet s'opposent à ce qu'il en soit ainsi. D'abord l'air comburant et le combustible ne sont pas de même nature physique, et leur mélange n'est point complet, l'air filtre à travers les morceaux de combustible en filets plus ou moins volumineux dont le contour extérieur est seul en contact avec le combustible. La partie centrale et froide de ces filets d'air ne touchant pas le combustible peut s'échapper sans s'y être mélangée ou combinée.

Il en est de même des filets de gaz combustible qui distille sur la grille, leur partie extérieure est seule en contact avec l'air, et le centre du filet de gaz combustible ne peut entrer en combinaison puisqu'il est séparé de l'air comburant par une gaine d'acide carbonique.

Il en résulte que l'affinité chimique des gaz est fortement empêchée par la présence de ces gaines de gaz inertes, qui forment chacune un obstacle sérieux à la combinaison des gaz et à leur combustion.

Il suit de là qu'il est impossible avec les combustibles solides de réaliser les hautes températures que l'on obtiendrait si on pouvait les brûler complètement avec le volume d'air rigoureusement nécessaire à la combustion. Ainsi en brûlant la houille, on ne peut guère développer dans les foyers ordinaires qu'une température d'environ 1500°, tandis que si la combustion pouvait avoir lieu sans excès d'air, on réaliserait facilement des températures de 2000 à 2500°.

Les combustibles gazeux n'ont pas ces défauts, ils brûlent complètement sans qu'on soit obligé de les mettre en contact avec un excès d'air; car leur nature physique étant la même que celle de l'air, le mélange est intime et l'affinité chimique est fortement augmentée par le contact rapproché des molécules à combiner.

Le combustible étant déjà à l'état de vapeur il n'y a pas non plus alors une disparition de chaleur causée par le passage de combustible de l'état solide à l'état gazeux et par suite la température de combinaison est plus élevée et elle se soutient plus longtemps, ce qui aide beaucoup à la combustion complète, car l'affinité chimique est fortement augmentée par une bonne température (1). On voit donc que les conditions nécessaires à une bonne combustion : contact intime, haute température et affinité chimique sont complètement réalisées par

(1) Il ne saurait être question ici des températures extrêmes où commence et se produit la dissociation.

l'emploi des combustibles gazeux, et on comprend l'intérêt qui s'attache à ces combustibles et aux appareils gazogènes qu'on emploie pour les obtenir.

Gazogènes. — L'ingénieur français Philippe Lebon, est le premier qui ait cherché à produire et à utiliser industriellement les gaz obtenus par la distillation des bois.

Il se proposait en effet de réaliser non-seulement l'éclairage artificiel, dont nous n'avons pas à nous occuper ici, mais encore il voulait obtenir de son *thermolampe*, de la chaleur et de la force motrice. Lebon, assassiné à Paris en 1804, n'eut pas le temps de réaliser ce vaste programme, et ce fut l'anglais Murdoch, qui eut la gloire de produire par ses appareils, un gaz éclairant tiré de la houille.

Mais ce gaz était d'un prix trop élevé pour qu'on pût s'en servir économiquement comme moyen de chauffage.

Il restait donc à trouver des procédés et des appareils plus simples et moins coûteux, produisant des gaz non épurés, à un prix assez bas pour les applications industrielles du chauffage.

Deux ingénieurs français, Thomas et Laurens, ont les premiers trouvé des appareils pratiques et suffisamment économiques pour produire des gaz à bon marché.

Voici la disposition de leurs appareils : Le combustible est placé dans un fourneau ayant intérieurement la forme d'un cylindre vertical, fermé à la partie supérieure et muni d'une trémie destinée à opérer le chargement sans produire d'interruption dans l'écoulement du gaz. L'air comprimé par une soufflerie est lancé dans une ou plusieurs tuyères établies au bas du fourneau, où il se combine avec le charbon, en formant principalement de l'oxyde de carbone.

Le fourneau du générateur de gaz doit avoir assez de hauteur pour que tout l'oxygène de l'air se transforme en oxyde de carbone. Cette hauteur varie entre 1 et 3 mètres; la plus petite convient au charbon de bois, à la tourbe, au coke, aux anthracites, aux houilles sèches, lignites, et même aux houilles demi-grasses. Les houilles grasses qui s'agglomèrent fortement au feu doivent être mélangées avec du coke ou des houilles maigres.

Un ingénieur français, Ebelmen, qui a beaucoup contribué à perfectionner ces gazogènes, avait établi aux forges d'Audincourt, des appareils marchant uniquement avec des déchets de halle à charbon et des résidus combustibles presque sans valeur, produisant ainsi du gaz dans des conditions très-économiques.

Malgré les avantages que présente la formation directe des gaz, ce mode de combustion se propageait difficilement à cause de la quantité notable de force motrice exigée par la soufflerie d'air, et des dépenses considérables causées par l'installation de cette soufflerie qui devait marcher à des pressions élevées, 25 à 40 centimètres d'eau. Mais les récents travaux de Siemens, Ponsard, Périssé, Lencachez, Fichet et Muller; ayant nettement prouvé qu'avec leurs appareils de production et de chauffage au gaz, on pouvait se passer complètement de soufflerie, il y a maintenant un mouvement prononcé dans beaucoup d'industries vers l'application générale du chauffage au gaz.

On obtient en effet par ce chauffage rationnel, de nombreux et puissants moyens de produire avec économie des températures fort élevées, de grandes facilités pour la conduite régulière et constante de la combustion, une fumivité parfaite et enfin ce qui est le plus important une combustion complète, c'est-à-dire l'utilisation méthodique de la totalité du pouvoir calorifique des combustibles, même des plus pauvres, tels que la tourbe et les escarbilles.



Pour obtenir le tirage nécessaire à tous ces nouveaux gazogènes, on les établit en contre-bas des foyers de chauffage, ce qui donne aux gaz produits une certaine pression, suffisante pour les faire parvenir aux brûleurs, où ils se mélangent, soit à l'air froid comburant, soit à de l'air comburant chauffé par des récupérateurs qui empruntent eux-mêmes leur chaleur à celle des gaz de la combustion qui circulent dans leurs galeries avant de s'échapper dans l'atmosphère.

On obtient par ces appareils, des résultats économiques déjà très-satisfaisants et que nous croyons encore susceptibles d'amélioration, car on travaille de toute part à perfectionner ces méthodes de combustion, qui paraissent appelées à remplacer les systèmes actuels de chauffage dans un grand nombre d'industries.

Puissances calorifiques des gaz. — La composition des gaz produits par les gazogènes varie avec l'espèce et la qualité des combustibles employés, et par suite, il en est de même pour la puissance calorifique totale des gaz obtenus, dont on ne peut connaître la valeur précise que par des analyses nombreuses; analyses rendues fort commodes et très-promptes par l'emploi de l'appareil de l'ingénieur Orsat, qui rend de grands services dans ces recherches, devenues tellement faciles, grâce à cet appareil, qu'on peut maintenant les faire opérer par de simples ouvriers.

Cet appareil si précieux vient d'être récemment perfectionné par l'ingénieur Salleron, qui l'a rendu plus maniable et d'un transport plus facile.

Les gaz produits dans les gazogènes se composent pour la plus grande partie d'oxyde de carbone CO, dont la puissance calorifique est égale à 2403 calories le kilogramme. Ils contiennent en outre les gaz suivants :

L'hydrogène H, dont la puissance calorifique est égale à 34462 calories le kilogramme, vapeur condensée, et égale à 29000 calories seulement le kilogramme, quand on ne condense pas la vapeur d'eau produite par sa combinaison avec l'oxygène.

L'hydrogène carboné C²H⁴, dont la puissance calorifique est égale à 13063 calories le kilogramme, avec condensation, et à 11700 calories le kilogramme, sans condensation.

L'hydrogène bicarboné, C⁴H⁴, dont la puissance calorifique est égale à 11857 le kilogramme, avec condensation de la vapeur formée, et à 11080 le kilogramme, sans condensation de la vapeur.

Gaz de l'éclairage ou gaz-lumière. — Malgré son prix fort élevé 0⁶,30 le mètre cube à Paris, on emploie beaucoup aujourd'hui le gaz-lumière pour le chauffage domestique, la cuisine et dans la petite industrie.

Nous croyons donc utile de faire connaître la puissance calorifique de ce gaz. Sa composition chimique est à peu près constante, car elle est l'objet de fréquentes vérifications officielles, on peut donc aussi compter sur la constance de son pouvoir calorifique. Payen a donné dans son *Précis de chimie industrielle*, les résultats de cinq analyses de ce gaz dont la composition moyenne donne :

Pour 100 volumes :

$$C^4H^4 = 8,8; C^2H^4 = 57,7; H = 21,2; CO = 7,7; Az = 4,6.$$

Ce qui produit en poids :

$$C^4H^4 = 11,052; C^2H^4 = 41,947; H = 1,901; CO = 9,671; Az = 3,796.$$

En multipliant ces poids par les puissances calorifiques de chacun des gaz, on obtient, en ajoutant les produits, le nombre 7684 calories. On peut donc

admettre que la puissance calorifique du mètre cube de gaz de l'éclairage de Paris est très-voisine de 7700 calories, en condensant les vapeurs produites par la combustion de l'hydrogène.

Le poids de ce mètre cube égale environ 0^k,700 grammes (Payen), il en résulte que le kilogramme du gaz parisien donne une puissance calorifique égale à $\frac{7700}{0,7} = 11,000$ calories, vapeurs condensées. Sa densité égale $\frac{0,7}{1,3} = 0,538$.

Si la vapeur produite par la combustion de l'hydrogène s'échappait sans être condensée, ce qui se produit assez fréquemment dans les appareils de chauffage, il faudrait pour obtenir la puissance calorifique du gaz parisien, multiplier les poids ci-dessus par les puissances calorifiques des gaz indiqués pour ce cas. Il viendrait alors comme somme des produits le nombre 6814 calories, qui représente la puissance calorifique du mètre cube de gaz parisien sans condensation de la vapeur.

En divisant ce nombre par 0^k,7, on obtient enfin 9734 calories pour la puissance calorifique du kilogramme de gaz parisien sans condensation de la vapeur (A. Wazon).

Nous nous sommes un peu appesanti sur ces calculs pour faire comprendre qu'ils sont très-simples et qu'avec un peu d'ordre, il est facile de calculer rapidement la puissance calorifique des gaz, dont la composition est aujourd'hui facilement et rapidement obtenue à l'aide de l'appareil Orsat-Salleron, qui donne en pratique des résultats très-suffisants pour les industriels appelés à s'en servir pour les analyses des gaz de la combustion dans tous les foyers, les cheminées et les gazogènes. Il est en effet de la plus haute importance d'étudier la marche et les produits de la combustion dans tous les appareils destinés à produire ou utiliser la chaleur, ces études permettent seules de bien se rendre compte des pertes souvent très-élevées causées par une combustion défectueuse et incomplète. Il faut bien se persuader qu'une cheminée, tout en pouvant donner issue à des gaz incolores qu'on pourrait croire parfaitement brûlés, peut cependant laisser passer des gaz hydrogène et oxyde de carbone *tout à fait transparents*, et cependant très-riches en éléments combustibles. Nous rappellerons en effet en y insistant tout particulièrement, qu'un kilogramme de carbone produit par sa combustion complète une puissance de 8080 calories, quand il est transformé entièrement en acide carbonique, CO₂; et que le même kilogramme de carbone auquel l'oxygène a manqué et qui n'a pu que se transformer en oxyde de carbone, CO, ne donne que 2473 calories.

Ainsi par cette mauvaise combustion, ce manque d'air ou d'oxygène, non-seulement on fabrique en abondance de l'oxyde de carbone, qui est un gaz délétère très-pernicieux, mais encore on perd par kilogramme de carbone consommé, une quantité de chaleur capable d'élever de 1 degré un volume de 5607 litres d'eau; c'est-à-dire que l'on perd plus du double de ce que l'on recueille en chaleur, et que 2473 kilogrammes de charbon se brûlant complètement en se transformant en acide carbonique produisent juste autant de chaleur que 8080 kilogrammes qui ne se convertiraient qu'en oxyde de carbone (Silbermann).

Ces graves considérations sur l'économie du combustible sont, nous le croyons, assez importantes pour décider les industriels à faire pratiquer fréquemment les analyses des gaz de leurs appareils de chauffage, afin d'être éclairés sur les pertes qui pourraient s'y produire et d'être à même d'y porter remède en les supprimant méthodiquement.

Fumivoricité. — La théorie de la formation de la fumée est encore fort obscure. On admet qu'il doit y avoir plusieurs causes principales qui seraient : le

manque d'air, le refroidissement rapide des gaz à combiner, ce qui amène l'extinction de la flamme, ou le refroidissement des gaz combinés produisant des dissociations donnant lieu à des dépôts de carbone. Il peut aussi se produire des combinaisons nouvelles parmi les gaz qui distillent, et ces nouvelles combinaisons d'atomes peuvent laisser libres des parcelles de carbone qui n'auraient pu trouver place dans les nouveaux groupements atomiques.

Il est à peu près certain que toutes ces causes interviennent et qu'il faut éviter le manque d'air, et le refroidissement des gaz avant leur complète combustion. Pour éviter le manque d'air il faut charger les grilles à intervalles rapprochés et par petites charges, il faut bien veiller au nettoyage des grilles et enfin pour les grands foyers il faudrait introduire de l'air en dessus du combustible du côté de l'autel, afin de pouvoir oxyder les gaz distillés qui s'échappent vers la cheminée. Il faut cependant bien veiller à ne pas introduire cet air en excès, car il y aurait là une cause de refroidissement assez intense. Pour éviter le refroidissement des gaz avant leur complète combustion, il faut bien se garder de les mettre en contact des corps à échauffer pendant toute la durée de leur combustion, il faut donc ménager pour ces gaz des espaces assez vastes pour que la combustion puisse s'y faire complètement avant la mise en contact des corps à échauffer, d'où la nécessité des *chambres de combustion*, où les gaz à brûler sont maintenus très-chauds pendant toute la durée de la combustion.

On obtient ces espaces ou ces chambres par différents procédés qui dépendent de la nature des combustibles employés. Ainsi, on a reconnu que les générateurs de vapeur chauffés au bois doivent avoir des grilles de foyer placées à une distance relativement grande des surfaces de chauffe des bouilleurs et des chaudières, 1^m,20. Si on rapproche ces grilles à bois, l'effet utile diminue fortement et il se produit de la fumée causée par le refroidissement des gaz avant leur combustion complète.

Il peut se produire les mêmes effets dans les foyers à houille, où les grilles sont en général placées beaucoup trop près des surfaces des bouilleurs. M. l'ingénieur Quérueu a obtenu d'excellents résultats d'une chaudière placée très-loin de la grille, avec échappement des gaz au niveau du sol. Un grand nombre de foyers pourraient être ainsi améliorés, rien qu'en abaissant leurs grilles et cendriers, ce qui est presque toujours facile, et peut donner lieu à d'importantes économies de combustible.

Ces chambres de combustion sont même nécessaires dans le chauffage au gaz. MM. les ingénieurs Muller et Fichet, ont été amenés à la suite de leurs études expérimentales, à brûler les gaz dans des chambres en terre réfractaire, avant de les mettre en contact avec les parois des générateurs; si cette disposition était négligée on obtiendrait des pertes de gaz combustibles et même de la fumée, en employant le chauffage au gaz, qui est cependant le chauffage méthodique par excellence, et qu'il suffit d'employer avec intelligence pour obtenir une fumivorité complète. Les industries métallurgiques et céramiques sont largement entrées dans cette voie, elle leur permet depuis quelques années d'obtenir une fumivorité absolue et des économies notables.

La quantité de noir de fumée lancée dans l'atmosphère par les foyers non fumivores paraît à la première vue très-considérable, elle est cependant minime.

M. Scheurer-Kestner a pu la mesurer avec précision, grâce à d'ingénieux procédés, et il ne l'estime qu'à 1 % au maximum avec des houilles très-fumeuses chargées en grandes quantités. Il y a loin de ce faible chiffre aux économies énormes promises par les inventeurs d'appareils fumivores, qui prétendent obtenir 25 et 50 % de bénéfice.

Il y a cependant lieu de tenir compte de l'influence fâcheuse causée par les

dépôts de fumée et de suie sur les parois des générateurs et réchauffeurs. Ces dépôts de suie non conductrice ont en effet assez d'influence sur la production de la vapeur.

M. W. Grosseteste, à la suite d'expérience spéciales sur l'effet utile d'un réchauffeur de Green, a pu en évaluer l'importance, et il a trouvé que les dépôts de suie produits sur le réchauffeur seulement, diminuaient de 8 % le rendement total du générateur.

Si la surface totale de ce générateur avait été constamment tenue propre, il est probable que le rendement total eut été augmenté de 10 à 12 %; augmentation assez importante pour qu'il y ait lieu d'y avoir égard et qui vient encore à l'appui du chauffage obtenu sans fumée, car les nettoyages à moins d'être *absolument continus*, n'empêchent point cette perte.

M. W. Grosseteste s'est en effet assuré expérimentalement, qu'en quelques heures seulement, le dépôt de suie atteint son maximum d'effet nuisible; les nettoyages ordinaires sont donc tout à fait insuffisants, et pour empêcher cette perte, il n'y a guère d'autre procédé pratique que la combustion opérée sans fumée dans des foyers bien disposés.

Nous ne pouvons entrer ici dans la description des appareils fumivores, car il nous faudrait des volumes pour en parler avec les détails suffisants.

Il n'est peut-être pas de question qui ait donné lieu à plus d'inventions, dans tous les pays industriels, elles se comptent par milliers de brevets et il nous est impossible, on le comprend, d'en parler même sommairement ici.

VALEUR COMPARÉE DES COMBUSTIBLES.

Pour comparer les combustibles sous le rapport de leur prix de revient, il faut considérer leur puissance calorifique spéciale par kilogramme, et la valeur commerciale de ces combustibles sur le marché que l'on a en vue.

Nous indiquons dans le tableau ci-dessous la puissance calorifique et la valeur vénale des principaux combustibles employés à Paris.

	PUISSANCES calorifiques.	PRIX du kilogr. à Paris.
Bois moyen à 30 % d'eau	2,500 cal.	0,048
Charbon de bois	7,000	0,18
Charbon de tourbe	6,600	0,12
Houille	8,000	0,048
Coke de four	7,350	0,07
Coke de gaz = 2 ^l ,35 l'hecto de 32 ^l ,5	6,000	0,072
Agglomérés	8,000	0,048
Briquettes perforées	6,000	0,053
Charbon de Paris	6,000	0,12
Pétrole brut	10,000	0,15
Pétrole raffiné	10,000	0,60
Gaz-lumière	7,700 le m ³	0,30 le m ³

A l'aide de ces chiffres nous avons formé le tableau suivant, qui donne le prix de revient de dix mille calories, à Paris, pour les combustibles considérés, et le rapport de ce prix à celui de la houille, le moins cher de tous.

Prix de revient de 10,000 calories à Paris.

	LES 10,000 calories.	RAPPORT avec le prix de la houille pris pour unité.
Bois.	0,200	R = 3,2
Charbon de bois.	0,257	R = 4,3
Charbon de tourbe.	0,182	R = 3
Houille..	0,06	R = 1
Coke de four.	0,095	R = 1,58
Coke de gaz..	0,12	R = 2
Agglomérés.	0,06	R = 1
Briquettes perforées.	0,088	R = 1,46
Charbon de Paris.	0,20	R = 3,33
Pétrole brut..	0,15	R = 3,1
Pétrole raffiné.	0,60	R = 10
Gaz-lumière.	0,39	R = 6,5

Il résulte des chiffres ci-dessus, des conséquences importantes pour le choix des combustibles à employer. Ainsi, nous voyons d'abord que la houille et ses agglomérés sont les combustibles les moins chers. Que le coke de gaz dont on vante souvent le bon marché, est au contraire deux fois plus cher que la houille, tout en étant plus encombrant par son volume. Nous pouvons constater aussi que le bois moyen, coûte 3,2 fois plus que la houille.

Si donc on l'emploie dans les foyers ouverts de nos cheminées ordinaires d'appartement, ne chauffant que par simple rayonnement, il coûtera 6,4 fois plus cher que la houille; car on sait qu'il rayonne deux fois moins que cette dernière, 0,25 au lieu de 0,5 (Pécllet).

Si dans ces mêmes cheminées on voulait employer le gaz-lumière dont le rayonnement des flammes n'est que de 0,17 environ soit 1/3 seulement du rayonnement de la houille, il reviendrait à un prix = $6,5 \times 3 = 19,5$ soit près de 20 fois le prix de la houille. Ce résultat théorique qui paraît surprenant, est cependant confirmé par l'expérience.

Ainsi, un constructeur de Paris, fort intelligent et fort instruit sur ces matières, M. Wiesnegg, nous a dit avoir été forcé de renoncer à chauffer son magasin de la rue Gay-Lussac, au moyen d'une cheminée à gaz de son invention, fort ingénieuse et parfaitement combinée pour le rayonnement; il s'est vu forcé, bien malgré lui, de remplacer cet ingénieux appareil par une simple grille à houille.

Enfin, si on voulait chauffer ces cheminées en employant le pétrole raffiné dont le rayonnement des flammes n'est aussi que le 1/3 de celui de la houille, le prix de revient deviendrait égal à $10 \times 3 = 30$ fois celui de la houille.

On saisit donc, à l'aide de ces quelques exemples pratiques, toute l'importance qu'il peut y avoir au point de vue économique, d'un choix raisonné des combustibles suivant leurs emplois distincts et spéciaux.

Nous terminerons donc ici la 1^{re} partie de ces Études, en insistant sur l'attention toute particulière qu'on doit apporter au choix raisonné et à l'emploi rationnel et méthodique des combustibles, afin d'éviter d'inutiles dépenses et de ménager nos précieuses réserves fossiles, dont la disparition anticipée entraînerait forcément la chute de nos grandes industries Européennes.



une Faculté des lettres; à Lille, il existe en outre une Faculté de médecine. Ajoutons qu'une Faculté de droit et une Faculté des sciences ont été fondées à Angers.

Les jurys spéciaux ont reçu, en 1877, 32 bacheliers en droit, 9 licenciés en droit et 4 licenciés ès-lettres.

En dehors des Facultés et des Universités libres proprement dites, l'initiative privée a fondé un certain nombre d'établissements d'enseignement supérieur d'un caractère tout spécial. Le type de ces établissements, qui n'ont pas d'analogues dans l'enseignement de l'État, est l'École libre des sciences politiques, récemment fondée à Paris.



CHAUFFAGE & VENTILATION

DES ÉDIFICES PRIVÉS ET PUBLICS

PAR M. A. WAZON, INGÉNIEUR CIVIL

DEUXIÈME PARTIE

CHAUFFAGE

DEUXIÈME PARTIE (1). — *Sommaire* : Origine du chauffage. — Nécessité du chauffage. — Pertes de chaleur, moyens de les diminuer. — Calcul des pertes. — Formules de Pécllet, murailles, vitrages. — Ventilation. — Application des formules. — Chauffage direct. — Brasers. — Chauffage direct au gaz. — Cheminées. — Poèles. — Calorifères à air chaud. — Calorifères à eau chaude, à haute et basse pression. — Calorifères à vapeur. — Calorifères à vapeur et circulation d'eau.

PRINCIPES, APPAREILS ET SYSTÈMES

Origine du chauffage. — L'origine du chauffage, de même que celle du feu, se perd dans la nuit des temps préhistoriques. Dès l'époque miocène nous trouvons l'homme en possession du feu, puisqu'on rencontre des débris de foyers, charbons, cendres et ossements, dans les sables de cette époque reculée.

Le mystère qui couvre l'origine du feu dans l'humanité laisse cependant place à de nombreuses légendes (2), ayant presque toutes pour origine commune, un mythe védique, qui nous représente le dieu *Agni*, ou le feu céleste (en latin *Ignis*) comme blotti dans une cachette d'où *Matarichvan* le force à sortir pour le communiquer au premier homme *Manou*. La fable de *Prométhée*, qui va le chercher dans l'Olympe même, n'est rien autre chose que ce mythe indien.

Le nom de *Prométhée* a une origine toute védique, et rappelle le procédé employé par les anciens Brahmines pour obtenir le feu sacré. Ils se servaient, dans ce but, d'un bâton qu'ils appelaient *matha* ou *pramatha*, le préfixe *pra* ajoutant l'idée de ravir avec force à l'idée contenue dans la racine *matha* du verbe *mathnâmi*, qui signifie produire dehors au moyen de la friction. *Prométhée* est donc celui qui découvre le feu, le fait sortir de sa cachette, le ravit et le communique aux hommes. De *Pramathâ*, celui qui creuse en frottant, qui dérobe le feu; la transition est facile et naturelle, et il n'y a qu'un pas à franchir pour arriver du *Pramathâ* indien au *Prométhée* des grecs qui déroba le feu du ciel pour allumer l'étincelle de l'âme dans l'homme formé d'argile. Cette découverte fut pour les hommes la source de toute la civilisation. Avec

(1) Pour la première partie. Voir p. 1 à 27.

(2) Dr N. Joly. *Revue scientifique*, 1873.

lui sont nés tous les arts, toutes les industries; le foyer domestique devient même le symbole de la famille, qui se réunit désormais autour de sa vivante flamme. La découverte du feu est donc certainement la plus importante de toutes; et si par la pensée nous en supprimons toutes les applications, nous détruisons presque tous les éléments matériels de notre civilisation. Aussi conçoit-on sans peine que le feu aitété et soit encore, chez un grand nombre de peuples, l'objet d'un culte particulier (Prêtres de Baal, Guèbres, Brahmines de l'Inde. Vestales à Rome, Prêtresses du soleil au Pérou, etc.)

Cette profonde admiration de la puissance du soleil, ne doit pas nous étonner; elle semble indiquer, de la part de nos ancêtres, une sorte d'intuition mystérieuse des vérités admirables révélées par la science moderne au sujet de la puissance et de l'énergie solaire.

Nous savons d'abord que la terre n'est qu'une des humbles planètes qui gravitent autour de ce centre de force.

La puissance thermique du soleil se constate d'ailleurs facilement dans le phénomène de l'évaporation de l'eau, source de toutes les rivières, de tous les fleuves, dont la force vive est utilisée par les moteurs hydrauliques et par la navigation fluviale.

Les mouvements de l'air sont également causés par la chaleur solaire et la rotation terrestre, et la force vive de l'air, que nous utilisons par les moteurs à vent et les voiles du navire, est encore une force produite par le soleil.

La puissance chimique du soleil est indispensable à la réduction de l'acide carbonique et de l'eau par les végétaux, qui fixent la carbone et l'hydrogène. Donc sans soleil point de végétaux, point de combustibles, point de chaleur de combustion et point de force motrice pour nos moteurs thermiques, donc sans soleil point de force. D'un autre côté l'homme ne peut s'alimenter qu'avec des végétaux ou des animaux en ayant consommé, donc sans le soleil point d'alimentation pour l'homme et l'animal, et absence complète de vie et de mouvement sur notre globe.

L'homme est donc bien le fils du soleil, et il ne saurait exister sans lui, la science moderne le prouve clairement.

Il est curieux de comparer ce résultat capital de la synthèse scientifique moderne, avec la mystérieuse intuition de nos ancêtres.

Peut-être faut-il voir dans cette intuition sublime, comme une sorte de tradition confuse et à demi effacée, dernière trace légendaire d'une science antérieure déjà fort avancée, dont le souvenir complet n'existait plus, mais dont le principe supérieur et synthétique avait survécu, grâce au persistant éclat de son brillant symbole.

Nécessité du chauffage. — La température normale du corps de l'homme en santé est d'environ 37° en moyenne. Elle se maintient à ce même point sous tous les climats chauds et froids, grâce à l'action du système nerveux qui agissant sur les nerfs vaso-moteurs augmente ou ralentit la production de chaleur interne. Production de chaleur due comme on le sait depuis les admirables recherches de Lavoisier, à une oxydation ou combustion lente du carbone, de l'hydrogène et des matières complexes contenues dans le sang et les tissus.

Ainsi, pour maintenir notre corps à une température constante sous des climats fort différents et par des températures qui peuvent varier de plus de 100°, il est nécessaire de faire varier l'activité des combustions internes en proportion de la chaleur à fournir pour faire équilibre aux pertes dues au rayonnement du corps, et au contact de l'air plus ou moins froid et plus ou moins agité.

Mais la source où nous puisons le carbone et l'hydrogène nécessaires à l'entretien de notre chaleur interne n'est autre que l'alimentation, et on conçoit que



si les combustions internes augmentent par l'action du froid extérieur, il nous faudra nécessairement augmenter la quantité d'aliments ingérés, dans une même proportion. Il en résultera d'abord une respiration plus active, car il faudra plus d'oxygène pour oxyder les corps combustibles qui seront plus abondants, et il faudra en même temps que la respiration nous débarrasse de l'excès d'acide carbonique et de vapeur d'eau produits. Cette plus grande activité respiratoire nous expose à une plus grande fatigue des organes de la respiration, et elle peut devenir la source d'affections funestes. D'un autre côté la somme d'aliments ingérés fatiguera tous les organes de la digestion et de l'alimentation et les prédisposera également à certaines affections. Enfin, la masse d'aliments étant augmentée, il y aura une plus grande dépense à faire pour l'achat des substances alimentaires. Toutes ces conséquences fâcheuses de la diminution de température sont basées sur des expériences précises. La première appartient à Lavoisier, qui put constater qu'un homme au repos et à jeun, par une température de $+15^{\circ}$, consomme 26 litres 66 d'oxygène; tandis que le même homme n'en consomme plus que 24 litres, par une température de $+32^{\circ}$.

Barral, à également prouvé qu'un homme, par une température extérieure de 0° , brûle 14 grammes de carbone par heure, et que le même homme n'en brûle plus que 10 grammes par une température de $+20^{\circ}$. Ces différences déjà notables deviennent considérables quand on étudie l'influence des températures très-froides. Les esquimaux de l'île Melville, par exemple, supportent pendant l'hiver un froid qui descend jusqu'à -46° soit une différence de $+37$ à $-46 = 83^{\circ}$. Les pertes par rayonnement et par contact de l'air froid doivent être énormes, malgré l'abri de leurs épais vêtements fourrés, aussi ces peuples de l'extrême Nord arrivent-ils à consommer jusqu'à 12 livres de viandes grasses, dans leurs journées de chasse où ils sont soumis à l'influence du froid extérieur, (Hayes). Il en est de même des chasseurs du haut Canada où le froid est également fort rigoureux.

On pourrait supposer qu'il existe pour ces habitants du Nord, des habitudes de glotonnerie non justifiées par un réel besoin de calorification. Mais les expéditions d'exploration du pôle Nord nous ont appris que les marins européens et américains, les plus sobres, sont forcés d'adopter peu à peu ces rations alimentaires à mesure qu'ils avancent vers le Nord et en proportion du froid extérieur. Hayes dit en effet (1): plus nous nous accoutumions au régime des esquimaux, plus nous devenions capables de supporter avec facilité les basses températures. Nous étions insatiables de nourriture animale et surtout de graisses qui, dans nos latitudes, nous semblent si dégoûtantes. L'huile de baleine gelée, elle-même, me paraissait un mets agréable. »

Cette alimentation à doses si élevées est donc de toute nécessité, et elle s'impose on le voit à tous les hommes qui sont exposés à des froids excessifs.

Ainsi, il est parfaitement démontré par la science et l'expérience pratique, que le froid nous oblige à consommer une plus grande quantité d'aliments, et à respirer plus activement afin de faire équilibre aux pertes de chaleur causées par le rayonnement de notre corps et par le contact plus ou moins direct de l'air froid.

Pour éviter à la fois les inconvénients de fatigue de nos organes et de plus grandes dépenses en substances alimentaires, il suffira donc d'augmenter artificiellement la température de l'air qui nous enveloppe; tel est le but principal du chauffage des habitations. On conçoit facilement qu'il est toujours moins

(1) Fonssagrives, *Hygiène navale*, p. 564, 2^e édition.

coûteux, plus agréable et plus hygiénique, de réchauffer l'air qui nous enveloppe dans nos habitations, au moyen de combustibles à bon marché, que d'être obligé de consommer une grande quantité d'aliments, plus coûteux, fatiguant par leur masse les organes digestifs et forçant les organes respiratoires à produire un travail excessif.

Ce régime alimentaire exagéré ne saurait d'ailleurs être pratiqué par tout le monde, et il est clair que l'enfant, le malade et le vieillard n'y pourraient être soumis.

On voit donc enfin que le chauffage artificiel de nos habitations est une nécessité de premier ordre, forcément imposée par les principes économiques, et plus impérieusement encore par les préceptes de l'hygiène.

Pertes de chaleur. Moyens de les diminuer. Chauffer un édifice à une température donnée, c'est lui fournir une quantité de chaleur suffisante pour égaler la somme des pertes de chaleur causées: 1° par le rayonnement et la conductibilité de ses parois extérieures, murs, vitrages, toitures, etc.; 2° par la chaleur contenue dans le volume d'air nécessaire à la ventilation de cet édifice; volume d'air qui est toujours extrait à une température au moins égale à celle qu'on veut maintenir à l'intérieur. La perte de chaleur causée par la ventilation de l'édifice étant proportionnelle au volume d'air extrait, on voit de suite qu'il est nécessaire de réduire la ventilation au volume rigoureusement nécessaire à la salubrité.

Les pertes de chaleur causées par le rayonnement et la conductibilité des murs extérieurs sont proportionnelles à l'étendue superficielle de ces murs, d'où la nécessité, pour les pays très-froids, de réduire cette surface à un minimum, en évitant les constructions allongées et aplaties en plan ou en hauteur; il faut éviter aussi les angles rentrants et les contours et enhachements à ressauts, l'idéal serait, en plan, la forme circulaire qui offre le moins de contour extérieur pour une surface donnée. Mais cette forme n'étant pas souvent convenable sous d'autres points de vue, il faut simplement chercher à s'en rapprocher le plus qu'il sera possible, pour les habitations exposées à des froids excessifs. La quantité de chaleur perdue par les murs étant inversement proportionnelle à leur épaisseur, il faut, pour la réduire à un minima convenable, augmenter cette épaisseur autant qu'il se pourra. Il faut également employer à la construction de ces murs, des matériaux ayant un faible pouvoir conducteur pour la chaleur, c'est-à-dire des matériaux opposant par leur structure interne une résistance maxima aux vibrations calorifiques; car on sait, depuis les mémorables expériences de Rumford, que la chaleur n'est qu'une forme particulière de la force, et qu'elle se propage par une suite de vibrations de forme spéciale, qui, pour cette raison, sont nommées vibrations calorifiques.

Il faudrait donc employer pour la construction des murs extérieurs, les matières les plus difficiles à faire vibrer sous l'influence de la chaleur.

Mais en consultant les traités de physique on constate que les matières qui arrêtent le plus efficacement les vibrations calorifiques, sont tout à fait impropres, pour d'autres causes, à constituer des murailles résistantes. En effet, les matières les moins vibrantes sont d'abord les matières filamenteuses: Molleton de laine, Edredon, Papier, coton, etc., dont le pouvoir conducteur C . varie de 0,024 à 0,03 et qui ne peuvent être employées pour garantir du froid que sous la forme de vêtements, tentures, rideaux ou tapis.

A la suite des matières filamenteuses viennent les matières pulvérulentes: sables, $C = 0,27$; brique en poudre, $C = 0,139$; craie en poudre, $C = 0,086$; cendres de bois, $C = 0,066$; coke pulvérisé, $C = 0,16$; charbon de bois en poudre, $C = 0,079$.

Toutes ces matières ne peuvent évidemment constituer des murailles solides. Mais il est cependant possible, dans certaines constructions, d'utiliser les faibles pouvoirs vibratoires des matières pulvérulentes, en les employant comme garnissages de cavités ménagées dans les murailles de pierre, ou de briques. Pour éclaircir cette question nous empruntons à Péclet, le tableau ci-dessous qui donne les pouvoirs de conduction des vibrations calorifiques pour les matériaux ordinaires.

POUVOIRS DE CONDUCTION C DES VIBRATIONS CALORIFIQUES :

Cuivre.	C = 64,	Terre cuite.	C = 0,63
Fer.	C = 29,	Sapin suivant les fibres.	C = 0,17
Zinc.	C = 28,	— perpendiculaire —	C = 0,093
Étain.	C = 22,	Chêne —	C = 0,21
Plomb.	C = 14,	Noyer —	C = 0,10
Charbon de coraue.	C = 4,94	Noyer suivant, fibres	C = 0,17
Marbre grain fin.	C = 3,48	Liège..	C = 0,145
— gros grain.	C = 2,78	Caoutchouc.	C = 0,17
Pierre calcaire grain fin.	C = 2,08	Gutta-percha	C = 0,172
— moyenne —	C = 1,7	Verre lourd.	C = 0,88
— gros grain.	C = 1,32	— léger.	C = 0,75
Plâtre fin, gaché	C = 0,52	Air stagnant	C = 0,04
— ordinaire	C = 0,33		

En étudiant ce tableau on s'assure aisément que pour empêcher la conduction et les pertes de chaleur, il est surtout nécessaire d'employer des matériaux peu vibrants et peu conducteurs du son, car les vibrations calorifiques pour être spéciales à la chaleur n'en ont pas moins un rapport très-étroit avec les autres modes vibratoires : vibrations sonores, lumineuses, électriques ; toutes ces vibrations spéciales ne sont au fond que du mouvement, sous une forme plus ou moins rapide et plus ou moins étendue ; il ne faut donc pas s'étonner qu'un morceau de cuivre, par exemple, vibre à la fois très-facilement sous l'influence du son, de la chaleur et de l'électricité, et qu'un morceau de verre dont la constitution moléculaire et la densité sont différentes du cuivre, vibre au contraire très-difficilement sous les mêmes influences, aussi emploie-t-on le verre pour isoler les pianos, pour les poignées de portes de four et pour former des bagues isolantes aux conducteurs des paratonnerres. C'est là un exemple frappant de l'harmonie vibratoire qui lie certainement entre-elles toutes les formes différentes, en apparence, des forces naturelles. Il faut donc, pour empêcher la propagation des ondes vibratoires, employer des matériaux difficiles à mettre eux-mêmes en vibration, c'est-à-dire légers, poreux suffisamment épais, et à fibres courtes ou rompues.

On constate en effet que les vibrations calorifiques se transmettent dans les bois beaucoup plus facilement dans le sens de la longueur des fibres, que dans le sens perpendiculaire. Il est donc préférable d'employer les bois dans ce dernier sens.

Nous avons mentionné comme cause spéciale de perte de chaleur celle qu'il faut attribuer aux surfaces vitrées, fenêtres et vitrages. Elle est en effet presque toujours fort élevée malgré le faible pouvoir vibratoire du verre. Il faut donc surtout en trouver la cause principale dans le peu d'épaisseur des vitres. On parvient à réduire cette perte en employant des glaces épaisses, ou, mieux, des doubles vitrages laissant entre eux une couche d'air stagnant dont le pouvoir conducteur est faible.



Calcul des pertes de chaleur. — La quantité Q de chaleur émise par les murs et vitrages maintenus à une température constante, dépend du rayonnement R , et du contact de l'air A ; on a donc $Q = R + A$: La quantité de chaleur par rayonnement par mètre carré et par heure (l'heure est prise pour unité de temps dans tous ces calculs) est indépendante de la forme et de la grandeur du corps, pourvu que la surface n'offre pas de parties rentrantes, elle ne dépend que de la nature de la surface et de l'excès de sa température sur la température extérieure.

Valeurs de R pour différentes matières:

Cuivre rouge	= 0,16	Charbon en poudre.	= 3,42
Zinc.	= 0,24	Sable fin.	= 3,62
Laiton poli	= 0,25	Peinture à l'huile.	= 3,71
Étain	= 0,21	Papier peint	= 3,77
Tôle polie.	= 0,45	Noir de fumée	= 4,01
— plombée	= 0,65	Pierre calcaire	= 3,60
— ordinaire.	= 2,77	Plâtre.	= 3,60
— oxydée	= 3,36	Brique.	= 3,60
Fonte neuve	= 3,17	Bois.	= 3,60
— oxydée	= 3,36	Etoffes de laine.	= 3,68
Verre	= 2,91	Eau	= 5,31
Craie en poudre	= 3,32		

Valeurs de A , perte par le contact de l'air: La perte de chaleur provenant du contact de l'air est indépendante de la nature de la surface des murailles ou parois, elle ne dépend que de l'excès de la température des parois sur celle de l'air extérieur, de la forme et des dimensions des parois extérieures et de la vitesse du vent; cette valeur A peut varier entre les nombres $A_1 = 3$ et $A_2 = 6$, c'est cette dernière valeur que nous emploierons.

Formules de Pécelet. Murailles. — Après des recherches nombreuses, le professeur Pécelet, est arrivé à la formule suivante pour la valeur M des pertes de chaleur, en calories, par mètre carré de murailles et par heure:

$$M = \frac{CQ \times T}{2C + Qe}$$

la lettre C désigne le pouvoir de conduction des matériaux du mur; la lettre Q est égale à la valeur de $R + A$; la lettre T désigne l'excès de température intérieure du local sur la température extérieure, et enfin la lettre e l'épaisseur du mur en mètres.

Vitrages. — Pour trouver les quantités de chaleur perdues par M^2 et par heure par les vitrages, on peut aussi se baser sur les chiffres suivants dûs également à Pécelet, qui les a obtenus par des expériences directes:

Une seule vitre.	$M = 4 \times T,$
Une vitre recouverte de mousseline.	$M = 3 \times T,$
Deux vitres en contact	$M = 2,5 \times T,$
— à une distance de 0 ^m ,02	$M = 1,7 \times T,$
— à — de 0 ^m ,04	$M = 1,7 \times T,$
— à — de 0 ^m ,05	$M = 2,0 \times T,$

Pertes par la ventilation. — La perte par l'air extrait pour la ventilation est évidemment égale au poids moyen 1^k,3 de cet air multiplié par sa chaleur



spécifique = $0^{\text{cal}},237$, par le nombre de mètres cubes extraits, et par T , on a donc en général $V = 1^{\text{k}},3 \times 0^{\text{cal}},237 \times M^3 \times T$.

Application des formules. — A l'aide de ces trois formules, fort simples et suffisamment exactes en pratique, il est facile de calculer rapidement les pertes de chaleur de toutes les parois extérieures des édifices et celle causée par la ventilation; ainsi qu'on peut s'en assurer par le cas suivant :

Prenons pour exemple la recherche des pertes qui peuvent se produire dans une salle d'hôpital, type Lariboisière, de Paris. La température intérieure devant être maintenue à $+15^{\circ}$, et la température extérieure pouvant s'abaisser la nuit à -15° , la différence totale pourra s'élever à $+30^{\circ}$. Le nombre de lits étant de 32, à $60 M^3$ d'air par heure et par lit les pertes de ventilation donnent :

$Q = 30^{\circ} \times 1^{\text{k}},3 \times 0^{\text{cal}},237 \times 60 M^3 \times 32^{\text{l}} = 17730$ calories par heure. La longueur d'une salle = $38^{\text{m}},6$, largeur = 9^{m} , hauteur = $5^{\text{m}},2$; nous obtenons pour surfaces des parois verticales $495 M^2$ environ. Les fenêtres ont hauteur 3^{m} larg. $1,5$, surfaces pour $16 = 72 M$ vitres; il vient pour surface de murailles: $423 M^2$. Les vitres étant simples nous aurons $FM = 4 \times 30^{\circ} \times 72$. Les pertes F par vitres donneront donc par heure $F = 8640$. La formule de Pécelet pour les murailles donne :

$$M = \frac{CQ \times 30^{\circ}}{2C + Qe}$$

Le tableau C nous donne pour conductibilité calorifique de la pierre calcaire une moyenne = $C = 1,7$, l'épaisseur de ces murs = $0^{\text{m}},8$; on sait que $Q = R + A$; $A = 6$ au maximum; le tableau R nous donne pour valeur du rayonnement de la pierre calcaire $R = 3,6$; il vient donc $Q = 6 + 3,6 = 9,6$. Remplaçant dans la formule les lettres par leurs valeurs il vient :

$$M = \frac{1,7 \times 9,6 \times 30^{\circ}}{2 \times 1,7 + 9,6 \times 0,8} = \frac{489}{11} = 44^{\text{cal}},5 = M.$$

la perte par M^2 de murailles en pierre calcaire de $0^{\text{m}},8$ épaisseur pour une différence de 30° est donc égale à $44^{\text{cal}},5$ par heure; pour la surface totale des murs de notre salle on trouve $423 M^2 \times 44^{\text{cal}},5 = 20,823$ calories perdues par heure.

En récapitulant toutes ces pertes spéciales nous trouvons :

Pertes par ventilation	=	$V = 17730$ calories par heure.
Pertes par les vitres des fenêtres	=	$F = 8640$ — —
Pertes par les murs de $0^{\text{m}},8$	=	$M = 20823$ — —
Et pour pertes totales	.	$P = 47193$ calories par heure.

Nous n'avons pas compris dans ces calculs les pertes par le plafond, dont l'épaisseur nous est inconnue, mais il serait facile d'en tenir compte par le calcul, l'épaisseur étant donnée. Cette perte ainsi que celle produite par le sol est généralement peu élevée et on peut souvent la négliger à cause du faible pouvoir conducteur des planchers.

On voit par cet exemple suffisamment complexe, qu'il est facile de se rendre compte des pertes de chaleur qui peuvent se produire dans des édifices quelconques. Nous croyons donc qu'on devrait renoncer à évaluer ces pertes en bloc comme on le fait d'ordinaire, en se basant sur le volume total ou cube de l'édifice, ce n'est point en effet le volume qu'il faut considérer mais bien la surface totale des parois extérieures exposées au rayonnement d'une part, et au contact de l'air plus ou moins agité d'autre part.

Chauffage direct. Braseros. Le procédé de chauffage le plus simple et le plus naturel consiste à placer les matières combustibles sur le sol en les disposant de manière à donner un accès facile à l'air comburant, et à permettre à la combustion de persister spontanément pendant un certain temps. Ce procédé de chauffage tout primitif, serait certainement le plus énergique, si on pouvait le pratiquer sans introduire dans les pièces habitées les gaz provenant des combinaisons effectuées pendant la combustion plus ou moins complète. Le feu placé sur le sol au milieu des pièces les échaufferait rapidement et avec économie, car toute la chaleur rayonnée par le foyer serait utilisée directement pour l'échauffement des murailles, et il en serait de même de la chaleur des gaz de la combustion. Mais les combinaisons formées dans les gaz par la combustion donnent malheureusement lieu à une production continue et abondante de gaz éminemment toxiques.

Il y a production d'acide carbonique, et nous savons que ce gaz est impropre à entretenir la respiration ou la combustion respiratoire, puisqu'il est lui-même un produit déjà brûlé et comburé. Mais ce gaz n'est pas celui qu'on doit le plus craindre ici; car on a en outre à se défendre, dans ce procédé de chauffage direct, contre les effets souvent funestes de l'action du gaz oxyde de carbone, le plus redoutable des gaz produits par la combustion, et qu'on rencontre toujours en quantité suffisante pour qu'il puisse devenir la cause des accidents les plus terribles.

Les expériences de Tourdes, de Strasbourg, en 1841, ont dévoilé pour la première fois la puissance éminemment toxique de ce gaz; il a constaté qu'un lapin mis sous une cloche renfermant $\frac{1}{30}$ d'oxyde de carbone, tombait comme foudroyé, en deux minutes; un pigeon respirant un mélange à la dose de $\frac{1}{30}$ tombe en convulsions en une minute, et meurt au bout de trois minutes.

Ces faits qui mettent hors de doute l'action énergique de l'oxyde de carbone, ont été confirmés en 1842, par Félix Leblanc, à Paris; ce chimiste s'est assuré en effet qu'à la faible dose de 4 % dans l'air, ce gaz fait périr, *instantanément* un moineau. Un $\frac{1}{100}$ mêlé à l'air détermine la mort d'un oiseau au bout de deux minutes. D'après Félix Leblanc il suffirait même de la très-faible dose de 1 millième seulement dans l'air pour causer la mort. Les travaux de Claude Bernard, ont fait connaître la cause de ces accidents rapidement funestes. Cet éminent physiologiste a démontré que l'oxyde de carbone chasse l'oxygène du sang, et prend sa place en se fixant sur les globules rouges. Les combustions internes devenant impossibles, il en résulte un arrêt des fonctions respiratoires et vitales, et le sujet succombe à l'asphyxie, par manque d'oxygène dans le sang. Le chauffage direct par un combustible versant les gaz de la combustion dans la pièce à chauffer est donc extrêmement dangereux et son usage doit être rigoureusement interdit dans toutes les parties des édifices, même dans les pièces ouvertes; car il n'est pas nécessaire qu'une pièce soit hermétiquement close pour que la vapeur de charbon fasse ressentir ses funestes effets.

L'influence des courants d'air est démontrée par le fait suivant cité par le professeur Tardieu: Dans un restaurant d'une des barrières de Paris, une cuisine assez vaste était éclairée et aérée par une croisée *ouverte*. À l'extrémité opposée se trouvait une porte fermée. Les cuisiniers et leurs aides étaient occupés près des fourneaux. La porte s'ouvre, et l'on voit six personnes tomber les unes après les autres, asphyxiées par le courant de gaz toxiques qui faisait retour sur eux.

On a souvent cité en faveur du mode de chauffage direct, ses emplois nombreux et inoffensifs dans les pays méridionaux où il est pratiqué depuis l'antiquité sans causer d'accidents funestes. Mais il faut bien remarquer que le trépied grec, le focalus romain, le mangal des orientaux et le brasero espagnol, étaient,

ou sont mis en usage dans de vastes pièces non closes, et fort élevées, ce qui permet à l'oxyde de carbone produit par la combustion de s'échapper par le haut des pièces, car on sait qu'étant plus léger que l'air il a une tendance prononcée à s'élever et à disparaître par les ouvertures supérieures.

Il ne faut donc pas s'appuyer sur ces applications des braseros à des pièces hautes et ouvertes, pour en conclure à leur emploi inoffensif dans nos pièces basses et bien closes où ils ont souvent causé des accidents funestes.

Chauffage direct par combustion du gaz lumière. — Les observations qui précèdent touchant les dangers que présentent les braseros, sont en grande partie applicables au chauffage direct par le gaz lumière, sans évacuation méthodique des produits de la combustion, qui sont également toxiques, car ils peuvent renfermer de l'oxyde de carbone provenant d'une combustion imparfaite, qui se produit souvent avec des brûleurs non enveloppés d'une cheminée de verre réglant l'accès de l'air comburant et abritant la flamme contre les courants d'air.

Un chimiste français, Kulmann, analysant les produits de la combustion du gaz lumière, y a constaté la présence de l'acide cyanhydrique, un des toxiques les plus violents qu'on connaisse.

Toutes ces causes réunies font que le chauffage direct par le gaz lumière, sans évacuation des produits de sa combustion plus ou moins complète, est un chauffage éminemment dangereux et insalubre qui doit être absolument proscrit de nos habitations, sous cette forme incomplète et rudimentaire ; on pourrait cependant, dans quelques rares occasions, utiliser pour le chauffage la chaleur produite par des becs d'éclairage bien disposés, abrités par des cheminées de verre et dont la combustion régulière et complète serait assurée au moyen d'un régulateur de pression ; mais, même dans ce cas, on ne pourrait se passer d'ouvertures d'évacuation pour les gaz comburés, qui sont irrespirables et chargés de vapeur d'eau ; on voit donc enfin, que même en se plaçant dans le cas le plus favorable d'une combustion parfaite au moyen des appareils d'éclairage, il ne serait pas prudent d'employer le chauffage direct par le gaz lumière sans y joindre une ventilation puissante assurant l'évacuation des gaz produits par la combustion.

CHEMINÉES.

Origine de la cheminée. — La modeste et primitive cabane de l'homme à l'état sauvage, faite de branches enfoncées circulairement en terre et liées ensemble par le haut en forme de cône (1), nous offre le premier modèle de cheminée à l'état rudimentaire. Dans cette habitation rustique construite en bois, feuilles, mousses et herbes sèches très-combustibles, le foyer dût être écarté des parois afin d'en éviter l'inflammation. Ce foyer fut donc tout naturellement placé au centre du cercle formé par les parois ; car on l'écartait ainsi le plus loin possible de leur surface interne. De plus les habitants de la cabane pouvaient se ranger tout autour du feu et en jouir tous également. Enfin l'accès de ce foyer était rendu accessible de tous côtés, ce qui facilitait le service de la cuisson et de la préparation des aliments. Le chauffage de l'habitation était trouvé mais il restait à découvrir le moyen de se débarrasser de la fumée et des odeurs gênantes qui se concentrent dans tout lieu clos et habité.

On dût bientôt remarquer que la fumée tendant toujours à s'élever dans un air calme, il était facile d'en débarrasser l'habitation en laissant en haut de la

(1) Viollet-Le-Duc. Histoire de l'habitation humaine, p. 6.

toiture en pointe, une ouverture plus ou moins grande; ce qui avait de plus l'avantage de donner du jour à l'habitation en permettant d'en fermer la porte, qu'on avait dû tenir ouverte jusque-là, pour se débarrasser de la fumée, ou pour être éclairé le jour quand la flamme faisait défaut.

Ce procédé de chauffage encore en usage aujourd'hui chez quelques peuplades sauvages, offre le plus grand intérêt, et le jour où il fût inventé, un grand pas fut franchi par l'art du chauffage, car la cheminée était trouvée.

En effet, cette habitation ronde et de forme conique constitue déjà, dans son ensemble, une vaste cheminée dont la forme générale est remarquable. Le feu placé au centre chauffe également ses parois et ne permet pas à des courants d'air froid descendants de venir troubler l'ascension de la fumée; de plus la forme conique extérieure du toit a l'avantage de forcer les vents horizontaux à remonter vers le sommet du cône, ce qui les dévie vers la verticale et empêche efficacement leur plongée dans l'intérieur de l'ouverture du sommet; la sortie régulière de la fumée par cette ouverture se trouve ainsi assurée même par les vents les plus violents. Cette forme a même, par cette raison, l'avantage d'accélérer l'évacuation de l'air vicié quand il n'y a point de feu,

Les parois de ces rustiques cabanes étant assez perméables, l'air pur extérieur peut pénétrer tout autour par petits filets qui s'échauffent en se tamisant et ne causent point de courants incommodes par leur fraîcheur. L'alimentation en air pur est parfaitement assurée sur tous les points de la circonférence, il balaye donc devant lui tous les gaz de la combustion, de la respiration, et toutes les odeurs produites dans la cabane par les provisions, viandes, poisson, etc.; aérochées tout naturellement à une certaine hauteur dans le courant de fumée sortant, pour se débarrasser de leurs émanations. Remarquons en passant que cette pratique a dû de fort bonne heure faire découvrir la puissance conservatrice de la fumée sur les viandes et le poisson, et que de cette observation découla l'usage de fumer les provisions pour en assurer la conservation.

Ainsi, avec cette forme d'habitation toute primitive, on obtient, avec un simple foyer placé au centre, un chauffage suffisant, un moyen assuré de préparer les aliments même pendant les plus mauvais temps, et un renouvellement d'air abondant.

On peut donc affirmer que cette modeste cabane, de nos ancêtres encore à l'état sauvage, présente déjà des dispositions remarquables et fondamentales au point de vue du chauffage, dispositions que nous verrons se perfectionnant lentement avec les progrès de la civilisation, mais dont il faut louer le mérite et la valeur pour l'époque, sans doute fort reculée, où elles furent pratiquées pour la première fois.

Il est assez difficile de fixer l'époque précise où l'on plaça enfin le foyer central contre le mur de l'habitation humaine, alors nécessairement construit en pierre ou matériaux incombustibles.

On présume cependant qu'en France, ce fut vers la fin du XI^e siècle. Il existe encore au château de Caen qui fut habité par Guillaume-le-Conquérant, alors duc de Normandie, deux cheminées fort anciennes adossées aux murs de pierre, dont le tuyau débouche dans l'atmosphère en perçant la muraille obliquement comme un soupirail de cave, et sans s'élever jusqu'à la toiture. Cette disposition était sans doute commandée par les nécessités de la défense, qui utilisait à cette époque les toitures en terrasses, en les couvrant de combattants et d'engins de défense. Cette disposition fut importée en Angleterre par Guillaume, lors de la conquête, et les châteaux-forts de Conisboroug et de Rochester, datant de cette époque, en offrent encore des exemples curieux. Nous en donnons un dessin fig. 4. Nous ferons remarquer que c'est de France que l'Angleterre a tiré son premier modèle de cheminée, qui ne s'y propagea que lentement, car Tomlinson

affirme qu'au ^{xiv} siècle le foyer central était encore d'un usage général en Angleterre.

La suite de ces études sur les cheminées établira que ce sont des appareils essentiellement français, car tous leurs perfectionnements fondamentaux ont été inventés par nos compatriotes, ainsi que nous le prouverons plus loin.

Dès le commencement du ^{xii} siècle on rencontre en France beaucoup de châteaux munis de cheminées adossées au mur et dont le tuyau vertical débouche enfin au-dessus des toits à une assez grande hauteur, ce qui évite les refoulements de fumée qui devaient se produire avec un tuyau perçant le mur obliquement. Cette disposition de cheminée paraît avoir été inspirée par la forme qu'on donnait depuis longtemps aux cuisines des châteaux et des abbayes, qui présentaient dans leur ensemble la forme d'une grande cheminée conique, munie d'un ou plusieurs tuyaux verticaux donnant issue à la fumée.

La cuisine de ces grandes habitations exigeait alors plusieurs foyers distincts, à cause de la grande quantité de mets à préparer; ils ne pouvaient donc plus occuper le centre de la cuisine qu'ils eussent encombré et échauffé à l'excès par la grande masse de combustible forcément consommée, il devint donc nécessaire de diviser ce foyer central, trop volumineux, en plusieurs foyers distincts placés à la circonférence, adossés aux murs et munis chacun d'un tuyau de fumée spécial, construit directement et verticalement au-dessus de chaque foyer.

De là cette disposition dut tout naturellement être imitée et introduite dans les salles servant à l'habitation. On lui conserva même dans ces salles la forme circulaire et conique, rappelant celle de la cuisine; telle est par exemple la belle cheminée sculptée, que l'on voit encore aujourd'hui dans le bâtiment de la maîtrise de la Cathédrale du Puy-en-Vélay, qui date du ^{xiii} siècle (1).

La hotte de cette cheminée affecte la forme conique et aboutit à un tuyau cylindrique dont le demi-diamètre est en saillie sur le nu du mur intérieur. Ce tuyau dépasse de beaucoup en hauteur le pignon du bâtiment.

La cheminée française est donc arrivée dès le ^{xii} siècle à une forme rationnelle pouvant s'adapter facilement à toutes les habitations.

Examinons maintenant en détail les avantages de ce précieux appareil (fig. 2).

La forme du fond du foyer, en portion de cercle, est parfaitement motivée par la nécessité de soustraire le courant de fumée ascendant aux courants d'air horizontaux qui suivent et rasant la surface des parois intérieures des pièces; ce renfoncement met la fumée à l'abri de leur influence, elle s'y ramasse et s'élève ainsi sans pouvoir dévier latéralement, ce qui assure efficacement son écoulement régulier par la hotte supérieure.

Cette forme circulaire du fond du foyer a aussi l'avantage de bien réfléchir la chaleur du feu et de la diffuser dans toutes les directions, avantage que ne

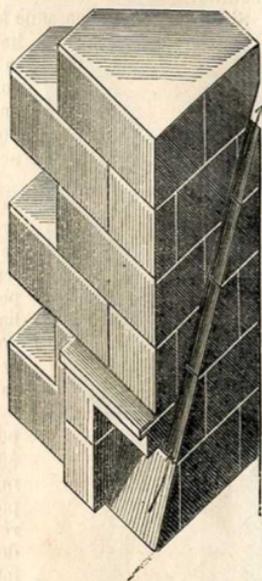


Fig. 4. — Cheminée normande.

de la Cathédrale du Puy-en-Vélay,

(1) Viollet-Le-Duc, Dictionnaire d'Architecture, article *Cheminée*.

peut avoir un foyer de forme carrée qui enferme les rayons réfléchis et dont les côtés latéraux ne diffusent point la chaleur dans la pièce.

La disposition circulaire a encore le mérite de se prêter à un facile raccordement avec un tuyau à fumée de forme cylindrique, forme de conduit parfaite puisqu'elle offre pour une même section le moins de contour et par conséquent un moindre frottement et un refroidissement minima, par surface, à la fumée ascendante, ce qui contribue fortement à en assurer l'écoulement régulier.

Si du foyer nous passons à l'examen de la hotte conique prenant naissance à hauteur d'homme, nous pouvons constater aussi que la forme en est excellente. En effet, ce tuyau qui ne commence qu'à 2 mètres du sol permet un facile accès au foyer et en rend ainsi le service très-commode, puisqu'il n'est pas besoin de baisser la tête pour y accéder.

A cette grande hauteur elle n'occulte presque aucun rayon direct du feu et permet ainsi l'utilisation presque complète du rayonnement du combustible, ce qui est fort important puisque ces foyers ne chauffent que par simple rayonnement. Enfin cette forme permet l'écoulement de l'air vicié de la pièce à une hauteur supérieure à celle de la respiration, et s'oppose ainsi à l'accumulation vers le plafond et le haut de la pièce, des produits gazeux et viciés de la respiration.

Ce modèle de cheminée serait donc excellent si on pouvait éviter les courants d'air froid causés par son énergique tirage, car il ne faut pas songer à supprimer ces accès d'air en bouchant les fissures des portes et des fenêtres; on obtiendrait alors pour résultat trois effets fâcheux, feu languissant, rentrée de fumée, et ventilation nulle, trois inconvénients qu'il faut toujours éviter.

Pour réaliser méthodiquement ce perfectionnement fondamental il faudra donc trouver le moyen d'échauffer cet air pur avant son introduction dans la pièce. Il semble aujourd'hui tout naturel d'utiliser

pour cet échauffement la grande quantité de chaleur inutilement emportée par le courant de fumée, et cependant ce perfectionnement n'a été réalisé qu'au dix-huitième siècle, six cents ans après qu'on eut trouvé la cheminée à hotte conique. On voit que ce progrès important s'est fait attendre bien longtemps, mais il faut considérer l'état peu avancé des sciences physiques et mécaniques, dont les éléments les plus simples n'existaient pas au moyen-âge.

Il a donc fallu attendre que Jean Rey, et plus tard Galilée, aient démontré la pesanteur de l'air, et que Toricelli et Pascal, par l'admirable expérience du baromètre, aient rendu sensible la décroissance de la pression de l'atmosphère, pour qu'on puisse se rendre compte des mouvements de l'air et de leurs causes. Il a fallu enfin pour franchir ce long arrêt de six cents ans, que les premières bases de la physique soient posées et bien comprises.

Nous avons dit que la cheminée française du moyen-âge, présentait dans sa forme générale des dispositions excellentes pour le chauffage par rayonnement. Tel ne fut pas l'avis des architectes italiens, appelés en France à l'époque de la Renaissance. Ces artistes méridionaux ne connaissaient point la construction

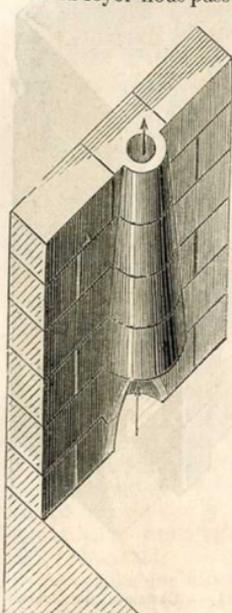


Fig. 2. — Cheminée française.

méthodique des cheminées puisqu'elles font défaut dans presque toute l'Italie du Sud. Préoccupés avant tout de la décoration, puisqu'on les avait appelés surtout pour changer et soit-disant rénover la nôtre, ils n'eurent rien de plus pressé que de changer d'abord toutes nos formes décoratives sans se rendre compte des nécessités qui les avaient fait adopter. S'attaquant à notre cheminée française, ils supprimèrent d'abord la hotte conique si nécessaire pour le facile écoulement de la fumée. Puis, ils firent avancer démesurément et d'équerre avec le fond, désormais plat, du foyer, les piédroits latéraux que le moyen-âge avait, avec raison, fait peu saillants et de forme oblique pour mieux réfléchir la chaleur; le foyer fut donc *enfermé carrément*, enfoncé et presque caché dans une sorte de coffre profond occultant le feu latéralement. Au-devant le manteau fut abaissé et vint aussi masquer une grande partie des rayons directs du feu, qui furent désormais perdus pour le chauffage de la pièce.

Enfin à l'extérieur le tuyau de fumée fut surmonté de lourds et massifs ornements, remplaçant le simple glacis en talus de la cheminée du moyen-âge; glacis fort efficace pour dévier les vents horizontaux et empêcher tout reflux de fumée.

Il résulta donc de tous ces changements une cheminée de formes irrationnelles, fort peu échauffante et ayant presque toujours le grave défaut de donner lieu à des rentrées de fumée par les angles de son tuyau carré.

On chercha alors à se débarrasser de cette incommodité fumée, par une foule de petits moyens ne s'appuyant sur aucun principe scientifique et qui, pour cette cause, n'eurent aucun succès.

Il fallait, pour rendre au chauffage par les cheminées son ancienne valeur, toute une rénovation fondamentale qui se produisit lentement et fut encore amenée par des artistes français, qui réparèrent ainsi patiemment le mal causé par les trop fameux architectes italiens.

Cheminée Savot. — En 1624 un architecte français, Savot, crée au Louvre, dans le cabinet des livres, une cheminée où pour la première fois on utilise le contact des parois chaudes d'un foyer pour échauffer l'air de la pièce.

Savot est donc l'inventeur du chauffage de l'air par le contact des parois métalliques des foyers de cheminées. L'air frais pris *dans la pièce* au devant de l'âtre relevé passait sous la plaque du foyer, montait derrière le contre-cœur en fonte et sortait enfin chaud au devant de la cheminée par deux bouches de chaleur, ainsi qu'on peut le voir fig. 3.

Un grand pas est donc franchi par Savot, il a compris et fait connaître qu'on ne doit pas se contenter de la chaleur rayonnante du foyer, mais qu'il faut encore utiliser par contact la chaleur jusque là perdue des parois. Il a donc le premier isolé le foyer des murs de la cheminée, et il est ainsi parvenu à faire récupérer par l'air de la pièce une partie de la chaleur emportée par le courant de fumée ou perdue dans la masse des murs de la cheminée.

L'architecte français, Savot, est donc bien l'inventeur du principe de la récupération de la chaleur des foyers par le contact de l'air; principe fondamental dont la haute valeur sera bientôt mise en lumière par un savant inventeur français N. Gauger.

Mais avant de parler des travaux de Gauger, nous avons à faire connaître un

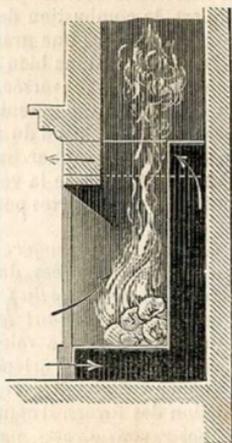


Fig. 3. — Cheminée de Savot.

appareil de chauffage basé sur un principe tout nouveau et d'une grande valeur.

Foyer de Dalesme. En 1686, un inventeur français, nommé Dalesme, fit voir et fonctionner à la foire Saint-Germain, à Paris, un appareil de combustion dans lequel la flamme au lieu de s'élever verticalement comme dans les foyers ordinaires, plongeait au contraire dans le combustible, la flamme était donc renversée ainsi qu'on peut le voir pl. I.

Ce procédé de combustion entièrement nouveau, avait l'avantage de brûler la fumée et les gaz produits par distillation; c'est donc le premier appareil fumivore connu.

Il excita la curiosité la plus vive à Paris, et il fut l'objet d'un mémoire scientifique dû au célèbre Lahire. On a contesté à Dalesme l'honneur de cette découverte fondamentale; un auteur anglais, Tomlinson, a prétendu qu'en 1678 le prince Rupert fit construire une cheminée avec foyer à flamme renversée. Mais le dessin qui accompagne cette injuste réclamation, (page 85 de l'édition de 1869), établit clairement que la fumée au lieu de passer sur des charbons ardents comme dans l'appareil de Dalesme, était simplement renversée au-dessus et derrière le dossier *plein* de la grille à houille, et que dans cet appareil de Rupert, la combustion de la fumée ne pouvait avoir lieu, car il y avait mélange de la fumée avec une grande quantité d'air froid.

Dalesme est donc bien l'inventeur de l'importante découverte de la combustion à flamme renversée, encore en usage aujourd'hui pour les foyers à bois ou alandiers qui donnent une combustion complète et exempte de toute fumée.

On voit qu'à la fin du XVII^e siècle et grâce à ces découvertes toutes françaises l'art du chauffage marchait à grands pas vers une rénovation complète, et qu'il n'attendait plus que la venue d'un génie synthétique, qui put fondre et combiner toutes ces découvertes pour en faire jaillir un art tout nouveau.

Cheminée de Gauger. C'est ce qui ne tarda pas à se rencontrer, et dès les premières années du XVIII^e siècle (1714), on voit paraître à Paris, un petit livre, *la Mécanique du feu, ou l'art d'en augmenter les effets et d'en diminuer la dépense, contenant le traité des nouvelles cheminées, par N. G.*

Cet ouvrage d'une valeur exceptionnelle, est encore d'un français, Nicolas Gauger, avocat au Parlement de Paris.

Gauger y donne les règles expérimentales nécessaires pour la bonne construction des foyers. Il commence par bien distinguer la façon dont le feu chauffe: par ses rayons directs, par ses rayons réfléchis et par une espèce de *transpiration*. Il fait voir que dans les cheminées ordinaires le feu n'échauffe point par *transpiration*, n'envoie que peu de rayons directs, en renvoie encore moins de réfléchis; tandis que dans celles qu'il propose et qu'il décrit avec soin, il en renvoie beaucoup et échauffe bien plus encore par *transpiration*, que par ses rayons directs et réfléchis.

Gauger a donc saisi toute l'importance de la perte qu'entraîne le courant de fumée. D'autre part il prouve clairement que la forme des jambages parallèles et d'équerre avec le fond du foyer n'est pas propre à réfléchir la chaleur dans les chambres. Il conseille donc d'en revenir à la forme circulaire et il propose d'adopter comme section horizontale du foyer une forme parabolique, pour réfléchir parallèlement les rayons du feu.

Il conseille ensuite l'emploi d'une prise d'air extérieur aboutissant devant le feu afin de le souffler et d'en assurer l'allumage, c'est là une idée excellente qui pouvait amener à se passer du soufflet; mais Gauger ne la donne pas comme nouvelle. En effet, cette disposition qu'on a attribuée à Perrault, et que Tomlinson



revendique pour John Winter, comme faisant partie d'une cheminée proposée par cet anglais en 1658, est beaucoup plus ancienne et nous la trouvons au moyen-âge en usage en France, dans la cuisine de Sainte-Marie de Breteuil (1) ; c'est donc encore là une vieille idée française.

Gauger établit ensuite, par des expériences multipliées, que l'air s'échauffe rapidement par contact, que le plus chaud monte au-dessus de celui qui l'est moins (comme une pièce de bois au-dessus de l'eau), parce qu'en même volume il est moins pesant. Il prouve encore qu'une large introduction d'air est toujours nécessaire pour empêcher la fumée de redescendre, car il faut qu'il entre autant d'air dans la chambre qu'il en sort. Enfin en s'appuyant sur toutes ses expériences personnelles et en les combinant avec des principes déjà trouvés par Savot et Dalesme il réussit à inventer une cheminée à flamme renversée sans mélange d'air froid, introduisant un courant d'air nouveau *plus ou moins chaud*, quelque froid qu'il fasse au dehors, qui vient ainsi alimenter d'air pur la chambre et ceux qui y sont.

Cet air arrivant chaud et montant, ainsi qu'il l'a déjà prouvé, au-dessus de l'air plus frais de la chambre, il en résulte que c'est l'air froid des couches inférieures qui se trouve aspiré par la cheminée. L'air pur extérieur est donc, grâce à Gauger, introduit pour la première fois à la température qu'on désire :

Il parcourt la pièce en l'échauffant, ce qui le rend plus frais et plus lourd, il descend donc et gagne ainsi la cheminée après avoir parcouru toute la pièce en emportant tous les miasmes et en renouvelant méthodiquement tout l'air confiné.

La ventilation rationnelle des habitations est donc née en même temps que la cheminée de Gauger, car ce précieux appareil permet l'introduction d'un air pur *plus ou moins chaud* grâce à l'emploi d'un régulateur et d'une chambre de mélange d'air chaud ou frais; il assure ainsi efficacement l'indépendance réciproque et instantanée du chauffage et de la ventilation; résultat fort important que beaucoup d'appareils modernes ne peuvent réaliser et qui est cependant indispensable dans un grand nombre d'applications.

Gauger est donc bien certainement l'inventeur du chauffage rationnel et de la ventilation méthodique des habitations, et du premier coup il les met à la portée de tous par les changements fondamentaux qu'il apporte à la construction de la cheminée, appareil qu'on trouve partout en France. La preuve évidente, qu'il a bien saisi toute l'importance d'un air renouvelé méthodiquement, réside dans les lignes ci-dessous, textuellement extraites de son précieux ouvrage :

« Si cette manière d'échauffer la chambre est utile à ceux qui se portent bien, l'on peut dire qu'elle est nécessaire aux malades, à ceux qui les gouvernent et qui les voient : Car l'haleine gâtée des malades, les humeurs corrompues qu'ils transpirent, ce qui s'exhale des remèdes qu'ils prennent et qu'ils rendent, se mêlant continuellement avec un air qui reste toujours le même, (parce que l'on n'ose rien ouvrir pour en faire entrer de nouveau, pour peu qu'il fasse froid), le corrompent de plus en plus, ainsi un malade respire un air plus corrompu, plus empesté que celui qu'il exhale ; ceux qui le voient respirent le même air ; et peut-on douter que ce ne soit souvent la cause de la mort des infirmes et de la maladie de ceux qui les ont gouvernés, ou qui les ont vu souvent.

Mais si par le moyen de ces cheminées on laisse continuellement entrer de nouvel air chaud, et au degré de chaleur que le malade le pourra souffrir, cet air nouveau chassera continuellement celui de la chambre, et en fera respirer de plus sain au malade, et à tous ceux qui sont dans sa chambre et les garantira

(1) Viollet-Le-Duc, *Dro d'Architecture*, t. IV, p. 223

des incommodités et des maux qu'un air empoisonné aurait infailliblement causé. »

La cheminée de Gauger est donc arrivée dès 1714, et grâce à des découvertes toutes françaises, à pouvoir introduire de l'air pur, plus ou moins chaud, et à l'extraire méthodiquement après qu'il a entièrement parcouru les pièces. L'art du chauffage et de la ventilation des habitations est dès lors en possession d'un appareil précieux, simple, puissant et partout applicable, Gauger est donc bien le fondateur de ces deux arts qui rendent tous les jours tant de services à l'humanité, qui devrait reconnaître dans Nicolas Gauger un de ses plus vénérables bienfaiteurs.

Il est loin d'en être ainsi, car notre enseignement officiel ne connaît même pas les travaux de Gauger. On professe partout en France que l'anglais Rumford fut le premier qui améliora la construction des foyers, ce qui est complètement inexact, ainsi qu'on le verra plus loin, et les traités de chauffage, de nos professeurs officiels, ne disent pas un mot de notre inventeur français, Gauger.

On nous pardonnera donc les longs détails que nous avons cru devoir donner sur les travaux de ce savant français, dont le mérite exceptionnel devait être mis en lumière afin que justice lui soit enfin rendue, et que dans son propre pays un étranger, Rumford, ne vienne plus usurper une place d'honneur qui lui appartient absolument.

Cheminée de Franklin, fig. 4. — En 1745, Franklin, l'illustre inventeur du paratonnerre, publiée, à Philadelphie, une description des nouveaux chauffoirs de Pensylvanie, qu'il venait d'inventer et d'expérimenter.

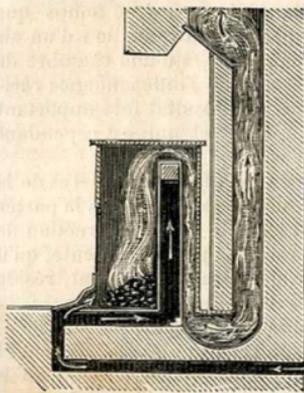


Fig. 4. — Cheminée Franklin.

Dans cet écrit, Franklin critique assez fortement la cheminée de Gauger qu'il trouve compliquée, bien que la sienne soit loin d'être simple ; il trouve que Gauger perd la portion *montante* de la chaleur ; Franklin prouve ainsi qu'il n'a pas compris que le feu ne rayonne pas plus en direction verticale qu'en direction horizontale, et qu'il n'a pas vu que c'est le courant d'air chaud vertical qui emportant les gaz de la combustion augmente en *apparence* le rayonnement du feu vers la verticale. Gauger avait parfaitement saisi la cause de cet effet, et il avait fort bien vu que c'était le courant des gaz chauds qu'il fallait utiliser et non le rayonnement *vertical* du foyer.

Franklin imagina donc de faire monter verticalement la flamme et de lui faire frapper une plaque horizontale qui, suivant lui, devait recevoir et transmettre dans la pièce une chaleur considérable.

La fumée ne trouvant pas d'issue vers le haut, tourne autour d'une caisse verticale servant de faux contre-cœur, redescend entre elle et le vrai contre-cœur et s'échappe enfin dans le bas du tuyau ordinaire de la cheminée.

L'air extérieur pénètre dans la caisse faux contre-cœur, s'y échauffe assez fortement et débouche enfin dans la chambre par deux bouches de chaleur latérales, beaucoup trop petites. Cette caisse verticale est évidemment empruntée à la cheminée de Gauger. Mais le moyen employé par Franklin pour l'échauffer est bien inférieur à celui de notre inventeur français, qui avait parfaitement