

*G. DEBESSON*

*LE CHAUFFAGE*  
*DES*  
*HABITATIONS*

*DEUXIÈME ÉDITION*

**DUNOD** ÉDITEUR  
PARIS



ULTIMHEAT®  
VIRTUAL MUSEUM

LE  
**CHAUFFAGE**  
DES  
**HABITATIONS**

ÉTUDE THÉORIQUE ET PRATIQUE  
DES PROCÉDÉS ET APPAREILS EMPLOYÉS  
POUR LE CHAUFFAGE DES ÉDIFICES, DES MAISONS  
DES APPARTEMENTS

PAR

**G. DEBESSON**

INGÉNIEUR CIVIL  
MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE  
VICE-PRÉSIDENT DE L'ASSOCIATION DES INGÉNIEURS DE CHAUFFAGE ET VENTILATION DE FRANCE  
EXPERT PRÈS LE TRIBUNAL CIVIL DE LA SEINE  
OFFICIER D'ACADÉMIE

---

2° ÉDITION

---

Ouvrage contenant 730 figures intercalées dans le texte

---

PARIS  
**DUNOD, EDITEUR**  
Successeur de H. DUNOD et E. PINAT  
47 ET 49, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS (VI<sup>e</sup>)

1920

---



# TABLE DES MATIÈRES

	Pages.
INTRODUCTION (1 <sup>re</sup> Édition).....	1
INTRODUCTION (2 <sup>e</sup> Édition).....	4
<b>CHAPITRE I. — Notions préliminaires.</b>	
La chaleur du corps humain .....	7
La respiration est une combustion.....	7
Volume d'air nécessaire à la respiration .....	8
La transpiration .....	8
La ventilation ; son utilité .....	10
Règlement sanitaire de la ville de Paris .....	11
Hygrométrie ; nécessité de l'humidité.....	12
<b>CHAPITRE II. — Historique du Chauffage.</b>	
La religion du feu.....	14
Les premiers feux .....	15
Les foyers chez les Romains .....	16
Les cheminées au moyen âge .....	17
Ordonnances royales de 1712 et 1723 .....	17
La cheminée de Rumford .....	19
La cheminée de Lhomond.....	19
La cheminée de Savot .....	19
La cheminée de Joly .....	20
Le poêle de Franklin .....	21
Les divers poêles .....	21
Les calorifères à air chaud .....	22
Les chauffages par la vapeur et l'eau chaude.....	22
Le chauffage Perkins .....	23
Le chauffage par le gaz.....	23
Le chauffage par le pétrole .....	23
Le chauffage par l'alcool .....	24
La ventilation .....	24
<b>CHAPITRE III. — Notes techniques.</b>	
Théorie de la chaleur ; théorie des émissions .....	25
Thermodynamique.....	26
Equivalent mécanique de la chaleur .....	27
Effets de la chaleur .....	27
Dilatation linéaire. — Dilatation cubique .....	28
Coefficients de dilatation .....	28
Densité.....	28
Densités des corps solides .....	29
Dilatation des liquides .....	29
Coefficients de dilatation des liquides .....	30
Densité de l'eau .....	30

	Pages.
Densités des liquides .....	30
Dilatation des gaz.....	31
Coefficients de dilatation des gaz .....	31
Densités des gaz .....	31
Volumes de l'air aux diverses températures .....	33
Densité de l'air par rapport à l'eau .....	33
Thermomètres.....	33
Thermomètre de Fahrenheit .....	34
Thermomètre de Réaumur .....	35
Thermomètre centigrade .....	35
Comparaison entre les divers thermomètres .....	35
Tableau de comparaison entre les divers thermomètres.....	36
Thermomètres à mercure et à alcool.....	37
Thermomètres à maxima et à minima.....	37
Thermomètres enregistreurs .....	38
Graphique de thermomètre enregistreur.....	38
Pyromètres.....	39
Thermomètres et pyromètres à cadran .....	39
Thermomètres et pyromètres avertisseurs.....	39
Evaluations empiriques de la température .....	40
Unités de chaleur, calorimétrie .....	40
Chaleur spécifique.....	40
Calorie.....	40
Chaleurs spécifiques des solides.....	41
Chaleurs spécifiques des liquides.....	41
Chaleurs spécifiques des gaz .....	42
Fusion des corps .....	42
Températures de fusion des corps solides.....	43
Chaleur latente de fusion .....	43
Tableau des chaleurs latentes de fusion des corps .....	44
Dissolutions .....	44
Mélanges réfrigérants .....	44
Bouillotte Ancelin .....	45
Calories-blocs .....	45
Ebullition .....	46
Tableau des températures d'ébullition.....	46
Vaporisation .....	47
Chaleur latente de vaporisation .....	47
Force élastique des vapeurs .....	47
Tensions des vapeurs.....	48
Tableau des forces élastiques de la vapeur d'eau.....	48
Tableau des forces élastiques des diverses vapeurs .....	49
Températures de l'eau sous diverses pressions .....	50
Mesure des tensions ou pressions des vapeurs.....	50
Baromètres .....	50
Manomètres .....	51
Manomètre Bourdon .....	51
Vapeurs saturées .....	52
Liquéfaction des vapeurs .....	52
Densités des vapeurs .....	52
Mélanges des gaz et des vapeurs.....	53
Tableau du poids d'eau contenu dans l'air saturé aux diverses températures .....	54
Hygrométrie .....	54



## CHAPITRE IV. — Modes de transmission de la chaleur.

	Pages.
Conductibilité .....	56
Corps bons conducteurs et mauvais conducteurs .....	56
Tableau de coefficients de conductibilité des corps solides.....	56
Mélange .....	57
Convection .....	57
Radiation ou rayonnement .....	58
Théorie de Bernoulli .....	58
Loi de Newton.....	58
Coefficients de convection et de radiation .....	59
Transmission à travers les parois à deux faces parallèles .....	60
Transmission à travers les parois cylindriques .....	60
Transmission quand les fluides sont en mouvement .....	61
Transmission quand un fluide est en mouvement et l'autre en repos .....	62
Pénétration de la chaleur dans les corps.....	62
Coefficient d'inertie calorifique .....	63
Coefficients de transmission de l'air à travers les parois .....	66
Pertes de chaleur par la ventilation .....	68
Tableau de calculs des pertes par les parois d'une salle à chauffer.....	69
Transmission à travers les parois des appareils de chauffage .....	69
Poêles. — Tableau des coefficients de transmission .....	69
Poêles-calorifères .....	70
Calorifères à air chaud .....	70
Rendement du calorifère à air chaud.....	71
Tableau des coefficients de transmission des calorifères.....	72
Calcul d'un calorifère à air chaud.....	73
Tuyaux de fumée .....	74
Aéro-calorifère .....	74
Transmission de l'eau à l'air .....	75
Coefficients de transmission de l'eau à l'air .....	75
Radiation directe.....	76
Coefficients de transmission .....	77
Chauffage indirect .....	78
Transmission de l'eau à l'eau.....	79
Bain-marie. — Pasteurisation.....	79
Transmission de la vapeur à l'air .....	80
Radiation directe. — Coefficients de transmission.....	80
Chauffage indirect. — Coefficients de transmission .....	81
Transmission de la vapeur à l'eau .....	82
Coefficients de Thomas Laurens, Rietschel, Hansbrand .....	83
Transmission des gaz de la combustion à l'eau .....	83
Coefficients de transmission des gaz de la combustion à l'eau.....	84

## CHAPITRE V. — Application des formules de transmission de la chaleur au chauffage d'un local.

Calcul des pertes par les parois d'un local à chauffer.....	85
Chauffage de ce local par un poêle.....	89
— — — par un calorifère à air chaud.....	90
— — — par l'eau chaude, radiation directe .....	93
— — — — chauffage indirect.....	94
— — — par la vapeur à basse pression, radiation directe.....	96
— — — — chauffage indirect .....	97



CHAPITRE VI. — Période de mise en régime dans un chauffage.  
Avantages du chauffage continu.

	Pages.
Graphique de la mise en régime .....	99
— — .....	100
— — .....	102
— — .....	103
— — .....	104
Avantages du fonctionnement continu .....	105

CHAPITRE VII. — Des combustibles

Puissance calorifique des combustibles .....	106
Le bois .....	107
Le charbon de bois .....	108
La tannée .....	109
La tourbe .....	109
Les lignites .....	110
La houille .....	110
Le coke .....	114
Les agglomérés (briquettes, charbon de Paris, boulets) .....	115
Les combustibles liquides .....	115
Les combustibles gazeux .....	116
Les gaz de hauts fourneaux .....	117
Les gaz industriels ou de gazogènes .....	117
La combustion. — Puissances calorifiques .....	118

CHAPITRE VIII. — Chauffage par cheminées.

Préparation des cheminées .....	120
Construction des tuyaux de fumée .....	121
Mitrons .....	122
Détail et nomenclature des diverses parties d'une cheminée .....	123
Ventouses .....	123
Cheminée à la Lhomond .....	124
— à la Rumford .....	129
Pourquoi les cheminées fument .....	131
Comment peut-on empêcher les cheminées de fumer .....	132
Utilisation de divers combustibles dans les cheminées .....	134
Grille à coke .....	135
Disposition Michel Perret .....	135
— anglaise .....	136
Foyers parisiens .....	136
Disposition de la C <sup>ie</sup> Parisienne du Gaz .....	137
Cheminées-calorifères .....	138
Cheminée Pécelet .....	138
— Pichon d'Anthonay .....	139
— Bolo de Sevray .....	139
— Fondet .....	140
— Haillot .....	140
— à la Prussienne .....	140
— en fonte .....	141

CHAPITRE IX. — Chauffage par poêles à combustion vive.

	Pages.
Poêle de Franklin .....	142
— de corps de garde .....	142
— et poêles-cheminées .....	143
— en faïence .....	144
— Gurney .....	145
— Geneste-Herschler .....	146
— Calorifères .....	146
— pour écoles. — Poêle Muller .....	148
— Michel Perret .....	148
— de salle à manger .....	149

CHAPITRE X. — Chauffage par poêles à combustion continue. — Poêles mobiles.

Poêle de la C <sup>ie</sup> du Gaz .....	155
— pour écoles .....	156
— Musgrave .....	156
— du familistère de Guise .....	157
— Phénix .....	158
— Choubersky .....	159
— Besson .....	160
— des Usines de Pied-Selle .....	161
— Salamandre .....	162
— Cadé .....	163
— Demotte et Goesels .....	164
Appareils Galli .....	165
Cheminée des Fonderies de Sougland .....	166
Poêle le Phare .....	167
Appareils Hinstin .....	167
Appareils Dinz .....	169

CHAPITRE XI. — Chauffage par calorifères à air chaud.

Prises d'air .....	171
Filtres à air .....	174
Calorifère proprement dit .....	174
Ramonages, dispositions nécessaires .....	175
Rivures des surfaces de chauffe en tôle .....	176
Assemblages — — — .....	177
Assemblages des surfaces de chauffe en fonte .....	177
Registres de tirage .....	178
Pompe d'appel .....	179
Saturateur .....	179
Chambre de chaleur ; enveloppe en maçonnerie .....	180
Conduits de chaleur .....	181
Clefs de réglage des conduits de chaleur .....	183
Conduits de chaleur suspendus sous plafond .....	184
— en terre-plein .....	185
— verticaux .....	186
— en coffres horizontaux .....	187
— unitaires .....	188
Bouches de chaleur .....	189

	Pages.
Divers types de calorifères.....	193
Calorifères à cloche .....	193
Calorifères des spécialistes .....	197
— Grouvelle et Arquembourg.....	197
— Chaussonot .....	199
— de Diétrich .....	199
— Cuau.....	200
— Goudard .....	201
— Marescot .....	202
— Michel Perret .....	202
— Galli .....	207
— Robin-Bang.....	208
— Drevet et Lebigre frères .....	210
— Isotherme Ch. Bourdon.....	211
— Besson.....	212
— Musgrave .....	213
— en maçonnerie .....	213
— Piet-Bellan .....	213
— Geneste-Herscher .....	214
Foyer Godillot.....	214

CHAPITRE XII. — Théorie du chauffage par la vapeur à basse pression.

Division des chauffages par la vapeur à basse pression .....	216
Principe du chauffage en cycle fermé dit chauffage américain .....	216
Inconvénients du — .....	219
Principe du chauffage en cycle ouvert, dit méthode française .....	222
Avantages du chauffage en cycle ouvert .....	224
Inconvénients du chauffage en cycle ouvert .....	227
Système américain à un seul tuyau .....	229
Diamètres des tuyaux dans le système à un tuyau .....	232
— .....	233
Système américain à deux tuyaux .....	236
Diamètres des tuyaux dans le système américain à deux tuyaux .....	240
— .....	241
Système dit français en cycle ouvert .....	241
— — batterie sous-sol .....	245
Système dit français : sections de canalisation .....	248
Diamètres des tuyaux dans le système en cycle ouvert .....	250
Dispositions spéciales nécessaires pour le chauffage en cycle ouvert .....	251
Considérations générales sur les chaudières .....	251
Surface de grille nécessaire .....	253
Magasin de combustible.....	253
Grands foyers .....	254
Surface de chauffe.....	255
Entraînements d'eau.....	256
Diamètres des départs de vapeur .....	256
Détails de construction .....	256
Régulateurs de pression et de combustion .....	257
— à membranes .....	258
— à eau .....	259
— à mercure .....	260
Accessoires des chaudières (manomètres, etc.) .....	260



	Pages.
Tuyaux de fumée .....	262
Conclusion .....	263

**CHAPITRE XIII. — Etude de certaines dispositions de chauffage  
par la vapeur à basse pression.**

Recherche des antériorités .....	266
Premier Brevet américain Tudor, 1875 .....	266
Disposition Bechem et Post.....	267
Deuxième Brevet américain Tudor, 1883.....	267
Disposition Kœrting frères (vapeur et eau) .....	268
— Kauffer (vapeur et air).....	270
— Kœrting frères (vapeur et air).....	270
— Kaeferle — .....	272
Quatrième Brevet américain Tudor, 1886.....	273
Disposition Grouvelle et Arquembourg .....	275
Systèmes divers .....	277
— Leeds-Mignot .....	278
— J. Tudor .....	280
— Broomell .....	281
Purgeurs divers.....	282

**CHAPITRE XIV. — Description et détails des appareils  
employés dans les installations de chauffage par la vapeur à basse pression.**

Des chaudières. — Chaudières à magasin de combustible.....	284
Chaudière Grouvelle et Arquembourg.....	285
— Garnier et Courtaud .....	286
— Leroy et C <sup>ie</sup> .....	287
— Nessi frères .....	288
— Montupet .....	289
— Sulzer frères .....	290
— Louis Arquembourg et Vaultier .....	291
— Robin Bang .....	292
— Drevet et Lebigre frères, La Gauloise.....	293
— Gérard-Bécuwe .....	295
— Radia .....	296
— du commerce.....	297
— Chappée et fils.....	297
— Chaudières en fonte à Magasin de combustible .....	300
— Chaudière la Préférable .....	300
— Chaudière Phœbus .....	301
— Chaudière Soval.....	302
Chaudières en fonte à grand foyer .....	303
Chaudière Idéal (C <sup>ie</sup> Nationale des Radiateurs) .....	303
— Cyclone, Astra (C <sup>ie</sup> Nationale des Radiateurs) .....	304
— La Française (Chappée) .....	305
— Volcan (C <sup>ie</sup> Française des Chaudières Phœbus) .....	306
— Robur (MM. Piat).....	307
Vaporigène Bourdon .....	309
Régulateurs automatiques de pression .....	311
Régulateurs à membrane type américain .....	311
— — Chappée et fils (poche déformable) .....	312
— — Idéal .....	314

	Pages.
Régulateurs à membrane Sylphon.....	315
— — Piat .....	316
— — Leroy et C <sup>ie</sup> .....	316
Régulateurs à eau .....	317
— — Kauffer.....	317
— — Klinger.....	318
— — Monnot.....	319
— — Bourdon .....	320
— — Louis Arquembourg.....	321
— — allemand Albert Senff .....	322
— — allemand Klinger à flotteur.....	323
— — allemand DR .....	324
— — Kœrting Chappée.....	325
— — Hydrostatique Chappée .....	326
— — Wyss et C <sup>ie</sup> .....	328
Régulateurs à mercure .....	329
— — allemand de la Société des Mines Budérus .....	330
— — Kœrting frères.....	330
— — Sulzer frères .....	332
— — allemand Kaerferle.....	332
— — Grouvelle et Arquembourg .....	333
— — Garnier et Courtaud.....	334
Tubes et réservoirs de sûreté .....	335
Alimentateurs automatiques .....	337
— — type américain .....	338
— — Chappée et fils .....	338
— — Quiès .....	339
Avertisseur électrique Bourdon .....	340
Sifflets avertisseurs de manque d'eau .....	341
Séparateurs d'eau et de vapeur .....	341
Des robinets. — Robinets du commerce .....	344
Robinet réglable .....	346
— Grouvelle et Arquembourg .....	347
— Mathelin et Garnier.....	347
— Leroy et C <sup>ie</sup> .....	348
— Sulzer frères .....	350
Robinet réglable du commerce .....	350
— réglable Chappée et fils .....	352
Robinet réglable Barré et Juranville .....	352
— Idéal .....	353
Robinet de précision GD.....	353
Purgeurs d'air .....	354
— Jenkins .....	354
— Davis .....	355
— Monash, Heintz, Duplex.....	355
Des surfaces de radiation .....	356
— à ailettes .....	357
— — Radiateurs de plinthes .....	358
— — type automobiles .....	362
Des radiateurs.....	362
Radiateur mural .....	368
Appareils dissimulés. — Enveloppes .....	369
Appareils dissimulés. — Enveloppes partielles Bourdon .....	373

	Pages.
Chauffage en gaines .....	373
— par les cheminées .....	375
— — Dispositif de la C <sup>ie</sup> Nationale des Radiateurs.....	377
— — Rétréci Gérard Becouve.....	378
Batteries de rappel .....	379
Chauffage par batteries .....	380
Réglage des batteries .....	382

CHAPITRE XV. — Chauffage par la vapeur à haute et moyenne pression.

Des générateurs .....	385
Générateur vertical tubulaire.....	386
— système Field .....	386
— semi-tubulaire horizontal .....	387
— à foyers et carnaux intérieurs .....	389
— à foyer amovible .....	390
— multitubulaires.....	391
Détendeurs régulateurs de pression .....	393
Détendeurs français .....	397
Thermo-détendeur Grouvelle et Arquembourg.....	402
Réglage à distance de la pression de vapeur .....	405
Appareils servo-régulateurs et régulateurs asservis Grouvelle et Arquembourg ..	405
Radiateurs, Poêles et surfaces à ailettes.....	408
Robinetterie .....	410
Purgeurs automatiques de vapeur et d'eau condensée .....	411

CHAPITRE XVI. — Chauffage par la vapeur d'échappement.

Robinet à soupapes à trois voies .....	417
Clapet de contre-pression .....	418
Additions de vapeur vierge à l'échappement.....	418
Séparateurs d'huile .....	419

CHAPITRE XVII. — Chauffage par la vapeur à une pression égale ou inférieure à la pression atmosphérique.

Système Paul .....	423
— Webster .....	425
— W. et J.-A. Donnelly.....	427
— Atkinson.....	430

CHAPITRE XVIII. — Théorie du chauffage par l'eau chaude à basse pression.

Théorie de M. Trégold .....	434
Etude de la vitesse de circulation. Circuit simple pour un radiateur .....	437
— Circuit desservant plusieurs radiateurs.....	439
Formules de pertes de charge .....	440
Résistances locales .....	443
Théorie de la résultante des charges .....	444
Longueurs relatives .....	445
Application des méthodes de calcul des diamètres.....	447
Théorie du circuit le moins favorisé .....	447
Théorie d'une résultante des charges partielle .....	448
Théorie de la résultante des charges complète.....	450

	Pages.
Etude des diverses dispositions de circulations .....	454
Circulation à deux tuyaux .....	456
Circulations simplifiées .....	459
Circulation à un tuyau .....	460

**CHAPITRE XIX. — Chauffage par l'eau chaude  
à haute et moyenne pressions.**

Tableau des températures de l'eau correspondant aux diverses pressions .....	464
Chauffage Perkins .....	465
Micro-siphon Geneste et Herscher .....	470
Chauffage à moyenne pression système Grouvelle .....	471

**CHAPITRE XX. — Chauffage par l'eau chaude à circulation accélérée.**

Critique du chauffage par la vapeur à basse pression .....	473
— — par l'eau chaude .....	475
Chauffage par l'eau chaude à circulation accélérée .....	476
Circulation mécanique .....	477
Circulation d'eau chaude par pression de vapeur .....	478
Chauffage par pulsion (système Chibout) .....	480
Circulation accélérée par émulsion .....	482
Système Reck .....	484
— Henry Hamelle .....	488
— Brückner .....	490
— Kœrting frères .....	493
— Rouquaud, par pulsion .....	495
— Nessi frères .....	507
— Barker .....	510
Comparaison et critique des divers systèmes de chauffage par l'eau chaude à circulation accélérée .....	519
Systèmes par émulsion .....	520
Circulation Rouquaud .....	524
Système Nessi frères .....	528
Système Barker .....	531

**CHAPITRE XXI. — Appareils employés dans les chauffages par l'eau chaude.**

Chaudières pour chauffage de serres .....	536
Chaudière en fer à cheval .....	537
— — système Bœringer .....	540
— avec foyer Michel Perret .....	541
— ovale .....	541
— Alpha (Chappée) .....	542
— Bijou (Phœbus) .....	545
— Intensive 506, AB 506, Exacte .....	545
— Idéal .....	545
— Leroy et C <sup>ie</sup> .....	546
Réglage automatique de la température de l'eau .....	547
Régulateur à tube déformable .....	548
— à membrane .....	549
— à tube plongeur .....	550
— Nessi et Bigeault .....	551
— Sylphon .....	552

TABLE DES MATIÈRES



	Pages.
Régulateur Heintz.....	553
— Grouvelle et Arquembourg.....	555
Thermomètres.....	557
Indicateurs de niveau d'eau.....	558
Surfaces chauffantes. — Radiateurs.....	559
Robinets de réglage.....	559
— réglables par l'ouverture.....	561
— Radior GA.....	563

CHAPITRE XXII. — Chauffage mixte par l'eau et la vapeur.

Disposition Grouvelle père.....	564
— Geneste-Herschel.....	566
— par éjecteur.....	568
— Nessi frères.....	569

CHAPITRE XXIII. — Des canalisations employées dans les chauffages par la vapeur et par l'eau.

Tuyauteries en fer pour la vapeur à basse pression.....	571
— en acier.....	579
— en fonte.....	584
— en cuivre.....	584
— en cuivre pour vapeur à haute pression.....	587
— en acier.....	591
— en fonte.....	591
— en fonte.....	592
— pour grands chauffages à eau chaude.....	594
— en fer pour chauffage à eau chaude à haute pression.....	597
Dilatation des tuyaux.....	598
Supports et colliers.....	601
Fourreaux. — Rosaces pour les dissimuler.....	602

CHAPITRE XXIV. — Outillage des monteurs chaudronniers.

Forge de chaudronnier.....	604
Etabli.....	604
Etaux à tubes.....	605
— parallèles tournants.....	606
Coupe-tubes.....	606
Alésoirs.....	606
Cintrage des tuyaux.....	608
Filetage des tuyaux.....	610
Perçage, taraudage, dudgeonnage.....	615
Pose des tuyaux.....	617
Serre-tubes.....	617

CHAPITRE XXV. — Chauffage par pulsion d'air chaud.

Aéro-calorifère d'Anthony.....	619
Ventilateur.....	620
Calorifère.....	623
Humidificateur.....	624
Hôtel Central des Téléphones. — Chauffage par aéro-calorifère d'Anthony.....	628
Théâtre de Montpellier.....	628



## TABLE DES MATIÈRES

	Pages.
Aéro-calorifères à vapeur .....	628
Aéro-condenseur Fouché .....	630
Systèmes américains Steam Hot Blast system .....	631
<b>CHAPITRE XXVI. — Réglage automatique de la température.</b>	
Régulateurs Powers .....	637
— Johnson .....	640
— de la National Regulator Co .....	645
— Heintz .....	649
— Fritz Kaefeler .....	650
— Grouvelle et Arquembourg .....	653
— Dorian .....	657
<b>CHAPITRE XXVII. — Enveloppes calorifuges.</b>	
Coquilles de liège .....	663
— de terre siliceuse .....	663
Bourrelets de soie .....	664
Aéro-calorifuge Grouvelle et Arquembourg .....	664
<b>CHAPITRE XXVIII. — Chauffage par le gaz d'éclairage.</b>	
Appareils de la Compagnie Parisienne du Gaz .....	668
Radiateurs Clamond .....	669
<b>CHAPITRE XXIX. — Chauffage par le pétrole et par l'alcool.</b>	
Poêles à pétrole .....	671
Chauffage par l'alcool .....	672
Poêles Denayrouse .....	673
Auto-radiateur Rouquaud .....	673
<b>CHAPITRE XXX. — Chauffage électrique.</b>	
Application des résistances électriques au chauffage .....	679
Appareils de la Société du Familistère de Guise .....	681
— Parvillée .....	684
— Le Roy .....	685
Estimation du coût du chauffage électrique .....	687
<b>CHAPITRE XXXI. — Ventilation.</b>	
Théorie de la zone neutre .....	690
Position des bouches d'entrée d'air frais et d'évacuation d'air vicié .....	694
Plenum System .....	696
Nestor Cabinet Ashwell and Nesbit .....	696
Filtres à air .....	698
Entrées d'air sur les radiateurs .....	699
Evacuations d'air vicié .....	700
TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES .....	703

## INTRODUCTION (1<sup>re</sup> Édition)

---

Parmi les multiples questions que l'Art de l'Architecte et la Science de l'Ingénieur ont à résoudre en collaboration, pour répondre à la fois aux prescriptions de l'hygiène et aux exigences du bien-être dans nos habitations modernes, le Chauffage et la Ventilation arrivent au premier rang.

Depuis les temps les plus reculés l'homme a ressenti la nécessité d'un chauffage artificiel ; mais les méthodes qu'il appliquait sont toujours restées fort barbares jusque vers le milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle. On peut même dire que l'invention des appareils de chauffage réellement pratiques ne date pas de plus de vingt ou vingt-cinq ans.

Depuis cette époque les progrès ont été considérables. L'antique cheminée de nos ancêtres, dans laquelle on brûlait des troncs d'arbres entiers, dont la chaleur mal utilisée n'arrivait qu'à augmenter de quelques degrés la température de la grande pièce de famille, a définitivement disparu, même dans les campagnes, à mesure que le bois devenait plus rare et plus cher.

Aujourd'hui, des appareils très perfectionnés, cheminées, poêles, calorifères, chauffages par la vapeur et par l'eau chaude, sont capables, chacun dans son genre, de nous donner la température qui répond à nos besoins physiques, en même temps qu'à nos désirs de confort, tout en restant dans la limite des divers budgets, depuis les plus riches jusqu'aux plus modestes.

L'étude des appareils de chauffage repose sur des principes fondamentaux de physique, qui servent de base aux calculs d'établissement pratiques. Mais l'application des règles théoriques générales, ou des formules simples ou compliquées qui les traduisent, donne lieu à des interprétations différentes suivant les cas à considérer, et qui ne sont jamais les mêmes d'un bâtiment à un autre.

Ceci revient à dire que les appareils de chauffage ne peuvent pas être

calculés rigoureusement, comme le sont, par exemple, les machines à vapeur ou les moteurs électriques.

Les coefficients qui résultent, soit des lois physiques naturelles, soit des expériences de laboratoire des physiciens les plus savants, soit des calculs rigoureux des ingénieurs, ont toujours besoin des rectifications et des corrections qui sont du domaine du praticien, et que son expérience seule lui permet d'appliquer judicieusement.

Des appareils de chauffage trop scientifiques seraient, non seulement coûteux, mais encore trop délicats, pour être confiés au personnel domestique habituellement chargé du chauffage.

Inversement des appareils trop barbares ne répondraient pas au but cherché, chaufferaient mal, dépenseraient inutilement le combustible, ou ne répondraient pas aux prescriptions de l'hygiène.

Nous expliquerons dans cet ouvrage pourquoi, par exemple, des régulateurs de pression ou de température, parfaits au point de vue théorique, ne peuvent être conseillés, parce que leur fonctionnement, qui est rigoureux dans les laboratoires, devient défectueux au milieu des cendres, des poussières de charbon et de la rouille, dans les chaufferies où ils devraient être installés.

Au contraire, nous montrerons comment les poêles et les calorifères à air chaud, très simples, excellents quand ils sont bien construits, sont devenus des appareils de chauffage pitoyables, dangereux même pour la santé, à partir du moment où la recherche d'un bon marché excessif a amené les architectes à en confier l'exécution à des fumistes ignorants ou peu scrupuleux.

Notre but est d'apprendre à tous ceux qui ont besoin de connaître les appareils de chauffage, architectes, ingénieurs, particuliers, pour les appliquer aux bâtiments qu'ils sont chargés d'édifier, ou aux bureaux et appartements dans lesquels ils devront vivre, comment ils devront interpréter chaque cas spécial, de manière à choisir, en pleine connaissance de cause, le système qui convient le mieux.

On ne trouvera donc dans notre ouvrage que la quantité de considérations théoriques strictement nécessaires pour comprendre les applications pratiques, et pour pouvoir faire entre elles un choix judicieux.

Nous nous sommes appliqué à décrire toutes les méthodes de chauffage en usage en France, en faisant précéder chacune d'elles d'une courte étude théorique, puis en indiquant les conditions à remplir, et nous terminons chaque article en montrant comment les constructeurs les plus importants et les plus compétents ont résolu le problème.

Nous avons cru utile aussi, dans certains cas, de montrer comment des problèmes analogues sont résolus à l'étranger, en Allemagne, en Angleterre, en Amérique, non pas pour dire que dans ces pays les systèmes

#### INTRODUCTION

de chauffage sont plus parfaits que les nôtres, mais parce que, dans certains cas, des idées nouvelles, originales ou hardies, sont intéressantes à connaître.

Une expérience de plus de vingt ans dans la construction des appareils de chauffage (cheminées, poêles, calorifères à air chaud, à vapeur ou à eau chaude), une collaboration de près de quinze ans au journal américain *l'Engineering Review*, autrefois *Heating and Ventilation*, spécialement dévoué à l'industrie du chauffage aux États-Unis, une affiliation, qui date de six ans, à l'« American Society of Heating and Ventilating Engineers », et notre admission en 1906 à la « British Institution of Heating and Ventilating Engineers », de Londres, nous ont permis d'oser aborder un travail aussi important que l'étude des procédés de « Chauffage des habitations ».

Des études analogues sont nombreuses en Amérique et en Allemagne ; il en existe quelques-unes en Angleterre. Nous avons cru utile de combler une lacune dont on s'est plaint souvent en France, et nous espérons que notre travail sera accueilli favorablement.

G. DEBESSON.

Paris, décembre 1907.

---



## INTRODUCTION (2<sup>e</sup> Édition)

---

L'accueil flatteur qui a accueilli la première édition de notre ouvrage sur le « Chauffage des habitations », qui était épuisée avant le commencement de la guerre de 1914, nous a encouragé à persévérer dans la même voie pour la seconde édition, retardée par les difficultés de publication au cours des hostilités.

Ce n'est donc pas un ouvrage purement technique que nous présentons, c'est surtout un traité de vulgarisation, à la portée de tous ceux que la question du Chauffage des habitations intéresse, et non pas des tiné aux seuls techniciens.

Par expérience personnelle de constructeur nous savons qu'il y a loin de la théorie à la pratique, et que les ouvrages trop savants sont souvent indigestes, et d'utilité contestable dans un domaine qui n'est que modestement scientifique.

Sans aucun doute les chauffages doivent être calculés, et, dès qu'ils tombent dans le domaine des mercantis, dont les offres alléchantes séduisent les clients imprudents, ils perdent toute valeur utile et deviennent la source des pires ennuis, contestations, procès, expertises.

Il ne faut exagérer ni dans un sens, ni dans l'autre. Trop scientifiques, ils cessent d'être exécutables ; trop rudimentaires, ils sont sans valeur.

Il a fallu moins de 20 ans aux architectes pour tuer le chauffage par la vapeur à basse pression, comme ils avaient tué le calorifère à air chaud.

Appréciant la valeur d'un chauffage au bas prix demandé par l'entrepreneur, ils ont trop souvent sacrifié la dépense d'exploitation, qui se répète chaque jour, à la dépense de première installation, qui ne se paie qu'une fois.

Nous pensons donc que des Traités comme celui-ci doivent avoir pour but d'éclairer les non théoriciens et les profanes encore plus que les techniciens ; ce n'est donc pas à ces derniers que nous dédions spécia-

## INTRODUCTION

lement cette étude, mise à jour simplement pour faire suite à l'édition de 1908.

Aujourd'hui, le chauffage par l'eau chaude succède au chauffage par la vapeur. Infiniment plus difficile à calculer, il mérite une étude plus approfondie. Nous en proposerons un essai, actuellement à l'impression, qui portera le titre de : « Théorie et Pratique des Chauffages par l'eau chaude ».

G. DEBESSON.

Paris, Juin 1919.

---

LE

# CHAUFFAGE DES HABITATIONS

---

## CHAPITRE I

### NOTIONS PRÉLIMINAIRES

La chaleur est la cause physique qui produit en nous, d'une manière plus ou moins sensible suivant son énergie et suivant notre tempérament, les sensations du chaud et du froid. Elle répond à une des conditions essentielles de notre existence.

La température normale du corps humain est d'environ 37°5.

Lavoisier, dès 1777, Séguin en 1789, Dulong en 1822, Despretz en 1823, Regnault en 1849, Boussingault ensuite, ont successivement, par leurs études sur la respiration, établi que le sang de l'homme et des animaux absorbe de l'oxygène, comme un corps qui brûle, puis dégage de l'acide carbonique, comme si ce corps en combustion était du charbon. Les poumons dégagent, en outre, de la vapeur d'eau, parce que l'oxygène absorbé en excès trouve dans les tissus de l'hydrogène, avec lequel il se combine pour former de l'eau.

En 1789, Lavoisier écrivait : « La respiration n'est qu'une combustion lente de carbone et d'hydrogène, semblable en tout à celle qui s'opère dans une bougie ou dans une lampe allumée, et, à ce point de vue, les animaux sont de véritables corps combustibles, qui brûlent et se consomment. »

Dans la respiration, comme dans la combustion, c'est l'air de l'atmosphère qui fournit l'oxygène ; mais, comme c'est la substance organique même qui fournit le combustible, si les animaux ne réparaient pas habituellement par les aliments ce qu'ils perdent par la respiration, l'huile manquerait bientôt à la lampe, et l'animal périrait, comme une lampe s'éteint lorsqu'elle manque d'huile.

« L'effet <sup>1</sup> de la respiration est d'extraire du sang une portion de carbone et d'hydrogène, et d'y déposer à la place une portion de son calorique spécifique, qui, pendant la circulation, se distribue avec le sang dans toutes les parties de l'économie, et y entretient cette température à peu près constante que l'on trouve chez tous les animaux qui respirent.

« En rapprochant ces résultats des réflexions qui les ont précédés, on voit que la machine animale est essentiellement gouvernée par trois régulateurs principaux : la respiration, qui consomme du carbone et de l'hydrogène, et qui fournit du calorique ; la transpiration, qui augmente ou qui diminue, suivant qu'il est nécessaire d'emporter plus ou moins de calorique ; la digestion, qui rend au sang ce qu'il perd par la respiration et la transpiration. »

Un homme adulte consomme, en moyenne, par heure, 20 à 25 litres d'oxygène, et exhale 15 à 20 litres d'acide carbonique, et 32 grammes de vapeur d'eau, dont 24 sont dus à l'action comburante de l'oxygène sur les tissus <sup>2</sup>.

L'air qui est expiré par les poumons à la température de 37° est presque toujours complètement saturé ; il contient 43<sup>gr</sup>,51 de vapeur d'eau par mètre cube, plus une certaine quantité de matières organiques.

Mais cette moyenne varie suivant les conditions atmosphériques, et suivant l'état physiologique des individus. Séguin, qui servait de sujet pendant ses expériences avec Lavoisier, consommait :

Pour une température extérieure de 32°<sup>5</sup>, au repos et à jeun, 24<sup>m</sup>,002 par heure ;

Pour une température extérieure de 15°, 25<sup>m</sup>,660 au repos et à jeun, 36<sup>m</sup>,689 pendant la digestion et au repos.

S'il exerçait un travail musculaire, cette quantité d'oxygène augmentait encore.

Ainsi, à 15° et à jeun, pour élever en un quart d'heure un poids de 7<sup>kg</sup>,343 à 199 mètres de hauteur, il absorbait 63<sup>m</sup>,477 d'oxygène ; pendant la digestion, pour élever le même poids à 211<sup>m</sup>,146 de hauteur, cette consommation montait à 91<sup>m</sup>,248.

Un travail accompli entraîne donc une consommation d'oxygène ; cet oxygène produit de la chaleur, et, comme la température du corps n'augmente pas sensiblement, on doit conclure que la chaleur disparue est employée à produire du travail.

1. Ed PERRIER, *Eléments d'anatomie et de physiologie animales* (Librairie Hachette, 1884).

2. D'après Rietschel un ouvrier au travail exhale 36<sup>l</sup> d'acide carbonique et 80 gr. d'eau, au repos 23<sup>l</sup> d'acide carbonique et 40 gr. d'eau ; — un adulte exhale 20<sup>l</sup> d'acide carbonique, un adolescent 16<sup>l</sup>, un enfant 10<sup>l</sup>.

C'est en se basant sur ces expériences que Mayer, d'Heilbronn, a établi les règles de l'équivalence de la chaleur et du travail, dont nous parlerons plus loin.

La digestion, elle aussi, consomme de l'oxygène, et par conséquent de la chaleur. On peut donc la considérer comme un travail intérieur, et la représenter par un travail mécanique simple, comme par exemple l'élévation d'un poids à une certaine hauteur.

En prévoyant pour le corps humain une température moyenne de 37°<sup>5</sup>, la nature a elle-même équilibré l'augmentation due à la combustion intérieure qui résulte de la respiration, au moyen d'un abaissement produit par la transpiration. Mais celle-ci est plus ou moins importante, suivant l'état de notre santé, la dépense de force produite par le travail, la température et la pression barométrique extérieures, etc.

En moyenne, la quantité de vapeur d'eau éliminée par la transpiration est de 40<sup>gr</sup>,25 par heure, pour un homme adulte <sup>1</sup>.

Nous remarquons la rupture d'équilibre par une sensation de chaleur ou de froid.

Pendant l'été, nous luttons autant que possible contre l'élévation anormale de la température extérieure en nous couvrant de vêtements légers ; notre transpiration devient plus abondante. Mais nous ressentons néanmoins une sensation de gêne et d'oppression si l'atmosphère devient lourde et humide, malgré la température élevée, parce que la transpiration est plus difficile.

Pendant l'hiver, nous luttons contre le refroidissement au moyen de vêtements chauds ou de fourrures, lorsque nous nous livrons à des exercices physiques, lorsque nous marchons ou que nous travaillons.

Mais il devient indispensable de chauffer artificiellement nos habitations ou nos bureaux, lorsque nous nous livrons à un travail sédentaire qui ne nécessite aucun effort musculaire, ou lorsque nous nous reposons.

Chacun de nous, du reste, n'a pas besoin de la même élévation de température ; celle-ci varie avec le tempérament de l'individu, son état de santé, son genre d'occupations, son alimentation, etc., etc.

Sauf indications spéciales, on admet généralement 13 à 14° dans les escaliers, antichambres, vestibules ; 17 à 18° dans les salons, salles à manger, bureaux, cabinets de toilette ; 14 à 15° dans les chambres à coucher. Pour les édifices, il est d'usage de donner 16 à 18° dans les écoles,

1. H. Volpert a trouvé 58 à 230 gr. pour un ouvrier développant un travail de 15.000 kilogrammètres par heure, 21 à 73 gr. pour un homme au repos, 39 à 60 gr. pendant le sommeil, 50, 5 à 56 gr. pour un employé de bureau, 56<sup>gr</sup>,5 pour un lithographe, pour un dessinateur, 44,5 à 55<sup>gr</sup>,3 pour un tailleur, 97 gr. pour un cordonnier, 52 à 55 gr. pour une couturière cousant à la main, 61 gr. pour une cordonnière au travail et 28<sup>gr</sup>,5 lorsqu'elle était au repos, etc.....

les hôpitaux, 14 à 16° dans les ateliers, 12 à 14° dans les musées, les églises, 19 à 20° dans les salles de spectacles, où on est généralement moins couvert.

C'est la recherche de la méthode de chauffage la plus hygiénique et la mieux appropriée, en même temps que la plus économique, qui fera l'objet de la présente étude.

**Ventilation.** — La ventilation, c'est-à-dire le renouvellement de l'air que nous respirons dans nos habitations, n'est pas un facteur moins important que le chauffage auquel elle est étroitement liée.

Un homme adulte exécute dix-huit à dix-neuf inspirations par minute, ce qui représente 9 à 10 litres d'air. Mais cette quantité est trop considérable : il reste de l'oxygène dans l'air expiré, qui peut encore être repris par les poumons. D'autre part, tout l'air contenu dans les poumons n'est pas chassé à chaque expiration : il reste une réserve pulmonaire, constante pour chaque individu en bonne santé, qui est d'environ 1 litre <sup>1</sup>.

La possibilité de respirer plusieurs fois le même air, la réserve pulmonaire conservée à l'état permanent, permettent de réduire à 6 litres par minute, en moyenne, la quantité d'air neuf à fournir à chaque individu.

M. Paul Bert a établi qu'un individu obligé de respirer dans un espace limité, où l'air n'est pas renouvelé, finit par mourir, par suite de la disparition de l'oxygène, peu à peu remplacé par l'acide carbonique. A la pression ordinaire, l'homme meurt quand l'oxygène de l'atmosphère est tombé à la proportion de 15 0/0.

Dans une atmosphère riche en oxygène, l'asphyxie se produit lorsque la pression de l'acide carbonique, supposé seul, équivaut à une colonne de mercure de 19 centimètres <sup>2</sup>.

Enfin, à très petite dose, l'oxyde de carbone produit l'asphyxie, en se combinant avec les globules du sang; sur lesquels l'oxygène ne peut plus se fixer.

Nous avons vu précédemment qu'un homme adulte évacue par heure 15 à 20 litres d'acide carbonique, 21<sup>gr</sup>,75 de vapeur d'eau par la respiration et 40<sup>gr</sup>,25 par la transpiration, plus une certaine quantité de matières organiques.

Les appareils d'éclairage contribuent également à appauvrir l'air d'oxygène et à augmenter sa teneur en acide carbonique et vapeur d'eau.

Aussi ressentons-nous vivement un sentiment de gêne et d'oppression,

1. Ed. PERRIER, *Ibid.*

2. Rietschel, se basant sur les expériences de Pettenkofer, dit que la proportion d'acide carbonique ne doit pas dépasser 0,7 0/00 dans les salles de malades et de convalescents, mais qu'une proportion de 1 0/00, et même 1,5 0/00, est encore admissible dans les écoles, et dans toutes les salles où se trouvent des personnes bien portantes.

des maux de tête, des nausées même, après un séjour prolongé dans des salles occupées par un nombreux public, salles de théâtres, salles de conférences, salles d'écoles, dont l'atmosphère finit par se charger d'acide carbonique et de vapeur d'eau.

Dans ces conditions, la nécessité d'un renouvellement d'air pur, c'est-à-dire d'une bonne ventilation, n'est pas douteuse.

Dans nos habitations, il faut renouveler l'air de chaque pièce au moins une fois par heure dans la journée, et il est sage d'aérer les chambres à coucher pendant la nuit.

Le général Morin, dans son *Traité de la Ventilation*, admet par heure et par individu <sup>1</sup> :

Pour les écoles d'enfants .....	12 à 15 mètres cubes	
— écoles d'adultes .....	25 à 30	—
— casernes.....	30 à 40	—
— théâtres .....	40 à 60	—
— prisons.....	50 à 60	—
— ateliers .....	60 à 100	—
— salles de malades .....	60 à 70	—
— salles de chirurgie.....	100	—
— hôpitaux de contagieux.....	150	—

Bien que la question de la ventilation ne soit pas, en général, traitée avec toute l'importance qu'elle mérite dans nos grandes villes, où l'hygiène est l'objet des préoccupations les plus éclairées, on arrive peu à peu à améliorer les conditions sanitaires des habitations par des règlements s'appliquant aux constructions neuves ou à celles qu'on transforme.

Nous citons avec plaisir, dans cet ordre d'idées, l'extrait ci-après du dernier arrêté du Préfet de la Seine, du 22 juin 1904, portant règlement sanitaire pour la ville de Paris.

§ 3. — ART. 29. — Les caves ne pourront en aucun cas servir à l'habitation de nuit.

ART. 30. — L'habitation de nuit est interdite dans les sous-sols. Les sous-sols destinés à l'habitation de jour doivent remplir les conditions suivantes :

- 1° Les murs ainsi que le sol doivent être imperméables ;
- 2° Chaque pièce doit avoir une surface minimum de 12 mètres. Elle doit être éclairée et aérée au moyen de baies ouvrant sur une rue ou sur une cour, et dont les sections réunies doivent avoir au moins 1/10 de la surface de la pièce.

1. Rietschel dit 10 à 17<sup>m³</sup> dans les écoles d'enfants de moins de 10 ans, et 15 à 25<sup>m³</sup> pour ceux de plus de 10 ans ; — 75<sup>m³</sup> pour les malades adultes, et 35<sup>m³</sup> pour les malades enfants ; — 20 à 35<sup>m³</sup> dans les salles où se tiennent des adultes dont le nombre est déterminé ; — 1 à 2 fois le volume des pièces dont le nombre d'occupants n'est pas déterminé ; — 3 à 4 fois dans les escaliers, corridors, etc..., très fréquentés, 1/2 fois dans ceux peu fréquentés ; — 3 à 5 fois dans les cuisines, w.-c., etc.

§ 4. — *Rez-de-chaussée et étages divers.* — ART. 33. — Au rez-de-chaussée et aux étages autres que le plus élevé de la construction, le sol de toute pièce pouvant servir à l'habitation de jour et de nuit doit avoir une surface minimum de 9 mètres.

Chaque pièce doit être munie d'un conduit de fumée, et être éclairée sur une rue ou sur une cour, au moyen d'une ou de plusieurs baies, dont l'ensemble doit présenter une section égale au moins au 1/6 du sol de ladite pièce.

Les pièces qui sont affectées à l'usage exclusif de cuisines peuvent avoir une dimension moindre.

Par exception, une loge de concierge ne peut avoir une surface inférieure à 12 mètres.

ART. 34. — A l'étage le plus élevé de la construction le sol de toute pièce pouvant servir à l'habitation de jour ou de nuit doit avoir une surface minimum de 8 mètres. Cette surface est mesurée à 1<sup>m</sup>,30 de hauteur du sol, sans que le cube de la pièce puisse être inférieur à 20 mètres cubes.

Chaque pièce doit être munie d'un tuyau de fumée et être aérée par une ou plusieurs baies, dont l'ensemble doit présenter une section totale au moins égale au 1/8 du sol de ladite pièce.

Toute partie lambrissée doit être disposée de façon à défendre l'habitation contre les variations de la température extérieure.

ART. 35. — Les cages d'escaliers sont éclairées convenablement dans toutes leurs parties.

Cet arrêté, qui sert de règlement général pour tous les architectes de Paris ou du département de la Seine, sert aussi de guide à nombre d'architectes de nos départements. On remarquera avec plaisir quel louable souci de l'hygiène l'a inspiré. On verra quel progrès il a apporté, en particulier, à l'étage supérieur des maisons, humble home de nos domestiques, glacial en hiver, surchauffé en été, véritable foyer d'infection et de tuberculose dans les anciennes maisons.

**Hygrométrie.** — Il n'est pas suffisant que l'air de nos habitations soit maintenu à une température convenable et renouvelé fréquemment, il faut encore qu'il contienne une certaine proportion de vapeur d'eau.

Quand l'air est trop sec, ou quand il est desséché par un appareil de chauffage de mauvaise construction, l'humidité de notre corps s'évacue trop vite, la transpiration est trop abondante, les muqueuses de la gorge et des poumons se dessèchent.

Quand l'air est trop humide, comme en hiver pendant les jours de brouillard, ou en été à l'approche des orages, les fonctions de la transpiration se font mal ; il en résulte une oppression, un sentiment de lassitude, que nous exprimons, en langage vulgaire, en disant que le temps est lourd.

En réalité, l'air, sous nos climats, n'est jamais complètement sec ni saturé d'humidité, il contient toujours une certaine quantité de vapeur



d'eau. Le degré d'humidité de l'air dépend non pas de la quantité, mais de la tension de la vapeur d'eau qu'il contient, en d'autres termes du rapport de la quantité d'eau contenue, à une certaine température, à la quantité qui serait contenue si l'air était saturé à la même température.

Nous verrons plus loin ce que veulent exactement dire ces expressions de tension et de saturation. Mais nous pouvons, dès maintenant, comprendre que l'air semble moins humide en été, bien qu'il contienne en général plus d'eau qu'en hiver, parce que, sa température étant plus élevée, la vapeur d'eau est plus loin de son point de saturation, c'est-à-dire que sa tension est plus grande.

L'étude de l'état hygrométrique de l'air est donc un facteur important de l'hygiène de nos habitations, et doit être intimement liée à l'étude de leur chauffage et de leur ventilation.

Rietschel dit que, dans les pièces closes, on peut, sans tenir compte de la vapeur d'eau dégagée par les occupants, tenir pour satisfaisant un système de ventilation qui maintient l'air dans un état de saturation inférieur à 50 0/0 (saturation absolue).

En hiver, et dans les locaux munis d'une installation de rafraîchissement, le degré de saturation absolue ne doit pas dépasser 70 0/0, en tenant compte de la production de vapeur d'eau par les occupants.

Le commandant Mathieu dit que l'humidité tolérée par l'organisme humain varie avec la température du local, et que certains hygiénistes admettent comme limites les proportions suivantes :

60 0/0	d'humidité relative	entre 18° et 20° Cent.
50 0/0	—	— 21° et 23°
40 0/0	—	— pour 24° et plus,

mais que la plupart préfèrent 40 0/0 maximum entre 18° et 20° 1.

Nous verrons, dans l'examen des divers procédés de chauffage, que les mauvais appareils ne dessèchent pas l'air, comme on le dit communément, c'est-à-dire qu'ils n'absorbent pas l'humidité qu'il contient. Mais ils augmentent sa température dans des proportions tellement importantes, qu'il ne contient plus ensuite le pourcentage d'humidité nécessaire pour que nos fonctions vitales puissent s'exercer dans des conditions normales.

Et il ne faudrait pas accuser uniquement, comme on est trop enclin à le faire, les poêles et les calorifères à air chaud d'un semblable méfait ; les chauffages par la vapeur ou par l'eau chaude à haute pression, avec leurs tuyauteries à haute température, possèdent presque au même degré un semblable défaut.

## CHAPITRE II

### HISTORIQUE DE CHAUFFAGE

Dans aucune branche de la science sociale, peut-être, les progrès n'ont été plus lents que dans la science du chauffage de l'habitation humaine.

Lorsqu'on suit pas à pas l'évolution de l'art de la construction, depuis la hutte de l'homme primitif jusqu'aux luxueuses et confortables maisons modernes, en passant par les puissantes constructions du moyen âge et

par les châteaux des styles Louis XII et suivants, si nombreux en France, si jolis et si précieux par leur architecture extérieure, on est frappé de la lente transformation des méthodes de chauffage.



FIG. 1.

Nos ancêtres ressentent-ils moins que nous les morsures de l'âpre bise, et supportaient-ils plus facilement les rigueurs du froid? Notre tempérament, s'affinant de plus en plus avec les progrès de la civilisation, exige-t-il pendant l'hiver des températures plus élevées?

Et l'évolution fut-elle si brusque que ce ne fut que vers la fin du XIX<sup>e</sup> siècle que la science de l'ingénieur s'unit à l'art de l'architecte pour rechercher des méthodes hygiéniques de chauffage?

Pourtant, depuis les temps les plus reculés, les races humaines ont eu recours à la production artificielle de la chaleur pour cuire leurs aliments et éloigner les animaux, plutôt que pour réchauffer leurs membres et leurs corps.

Zoroastre fonda même la religion du feu, qui fut pendant plusieurs siècles adoré comme une divinité par les Perses.

Viollet-le-Duc nous décrit en ces termes poétiques une scène de la vie



de l'homme primitif, demandant déjà au feu sa chaleur bienfaisante et l'adorant comme un Dieu <sup>1</sup> :

Le père, ayant tiré de sous son vêtement un paquet d'herbes et de branches sèches, le posa sur la pierre, et, faisant pivoter rapidement un brin de bois dans un morceau d'écorce, celui-ci noircit bientôt et s'enflamma. Le feu étant communiqué aux herbes sèches, la mère répandit dessus un peu de liqueur du soma ; aussitôt la flamme brilla d'un vif éclat, et le père, d'une voix vibrante, prononça ces paroles :

« J'invoque pour vous le brillant Agni, hôte du peuple... Qu'il répande des flots de lumière et que de son foyer il comble de biens son serviteur.

« On aime à honorer ce Dieu, qui est comme votre bien ; on aime à le voir grandir et produire ses lueurs. Sur la ramée il agite ses flammes. »

Puis la mère ayant jeté du beurre sur l'autel, le feu prit en pétillant une nouvelle intensité.

« S'acharnant sur le bois qu'il dévore, il brille, il court comme l'eau, il résonne comme un char, il trace en brûlant un noir sentier. Il plaît comme le soleil qui sourit entre les nuées.

« Donne-nous, ô Agni, de vaillants compagnons, une heureuse abondance, une belle famille et de grands biens. »

Le soleil commençait alors à semer des touches d'or sur les cimes neigeuses se détachant sur l'azur profond du ciel. L'air était vif et pénétrant. La famille, silencieuse, demeurait debout devant la flamme...

Les premiers feux furent sans aucun doute des feux de bivouacs, composés de branches d'arbres disposées l'une sur l'autre, sans aucun ordre et sans souci du vent (*fig. 1*).

Plus tard, l'homme, étant naturellement amené à se défier des bêtes dans les abris naturels, disposa probablement son foyer dans les anfractuosités des rochers (*fig. 2*), ou au pied des gros arbres, dont le feuillage lui offrait un abri, au milieu des forêts dans lesquelles il trouvait à la fois son gîte et sa nourriture (*fig. 3*). Il arriva peu à peu à sentir la nécessité



FIG. 2.



FIG. 3.

1. VIOLLET-LE-DUC, *Histoire de l'Habitation humains*. Librairie J. Hetzel.

d'aliments cuits, et il lui fallut inventer un moyen de suspendre les pièces de gibier au-dessus du feu, puis plus tard de supporter les vases en terre dont il se servit. Le foyer fut alors établi entre de grosses pierres (fig. 4),



FIG. 4.

dont les interstices servaient au dégagement de la fumée et au passage de la flamme.

L'homme construisit plus tard des huttes, dans lesquelles la place du foyer était au milieu de la pièce, la fumée s'élevant librement et se dégageant, au milieu de la toiture, par un trou spécialement réservé à cet effet.

Cette méthode survécut pendant des siècles ; les Chinois et les Japonais ont encore même, dans certaines provinces éloignées des centres, des brasiers avec foyers en terre, montés sur des trépieds en bois et en bambous, placés au milieu des pièces.

Les Romains, quoique déjà très civilisés, se servaient d'appareils portatifs à feu nu, qu'ils plaçaient au milieu des pièces, et qu'ils appelaient des *foculus* (fig. 5). On y brûlait de la braise, pour ne pas produire de fumée, et on y ajoutait parfois des parfums. De là le nom de *braseros*, qui s'est perpétué jusqu'à nos jours, et qui désigne encore certains appareils de chauffage portatifs employés couramment en Espagne, en Portugal, et en France dans certains cas particuliers.

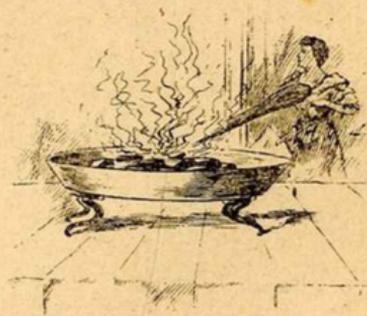


FIG. 5.

Les anciens Égyptiens, Perses, Assyriens, Grecs et Romains, chauffaient les palais et les thermes par des foyers placés sous le sol, et des circulations de fumée construites en briques ou en pierres plates sous les dallages et dans les murs. Le foyer était appelé un *hypocaustum*.

On retrouve des vestiges de tuyaux de fumée dans certaines maisons en ruines de Pompéi, correspondant à de grandes cavités qu'on croit être des fours de boulangers.

Pline décrit un appareil de chauffage placé dans sa maison de campagne<sup>1</sup>, qui distribuait de l'air chaud dans plusieurs pièces par des

1. M. SER, *Physique industrielle*.

## HISTORIQUE DU CHAUFFAGE

canaux qu'on pouvait obturer à volonté. Cette disposition semble être le premier calorifère à air chaud.

La méthode des conduites de fumée disparut avec les Romains, et, dans notre histoire, on n'en retrouve aucune mention dans les descriptions des habitations primitives jusqu'au moyen âge.

A ce moment le foyer, qui jusque-là devait être resté au milieu de la pièce, fut reculé contre une des parois. La figure 6 représente une des premières cheminées retrouvées dans un château du moyen âge, et qui se compose d'un simple évidemment dans la maçonnerie, avec une grande dalle en ardoise sur laquelle on plaçait le foyer.

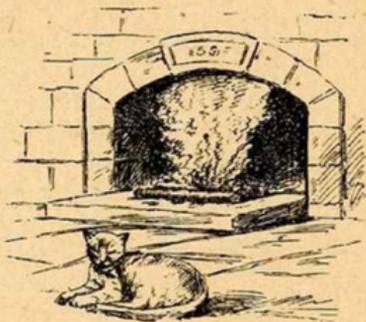


FIG. 6.

Dans d'autres châteaux du moyen âge, la place du foyer est plus nettement accusée par un léger retrait dans le mur, terminé à la partie supérieure par un manteau en pierre sculptée supporté de chaque côté par des colonnes en pierre (fig. 7).

A ce moment, la fumée s'échappait par un percement oblique creusé dans le mur et se terminant à l'extérieur par une pierre sculptée (fig. 8).



FIG. 7.

Une longue trainée noire, résultat de la fumée abondante dégagée par le bois humide, ne tardait pas à déshonorer les façades, et Vitruve se plaint amèrement de l'aspect vraiment piteux que donnaient à l'architecture de ce temps les dégagements de fumée le long des murs.

Ce ne fut pourtant que beaucoup plus tard qu'on construisit les conduits de fumée débouchant sur le toit. Ces conduits de fumée étaient toujours très grands, de

manière à permettre le passage des enfants, qui grimpaient dans l'intérieur pour ramoner, en grattant les parois au moyen de raclettes.

On retrouve en France (SER, *Physique industrielle*) des ordonnances royales de 1712 et 1723, qui fixent les dimensions de ces conduites au minimum de 3 pieds de largeur sur 10 pouces d'épaisseur, ce qui représente 0<sup>m</sup>,98 sur 0<sup>m</sup>,27.

Quand le vent soufflait, la colonne de fumée qui montait lentement dans ce grand conduit était violemment rabattue dans la pièce, donnant aux solives apparentes cette teinte noire vernie qu'on remarque encore dans nos châteaux historiques, ceux du moins qu'a respectés le vandalisme des restaurations, et dans les vieilles fermes de nos provinces, dont certaines n'ont pas encore aujourd'hui d'autre mode de chauffage.

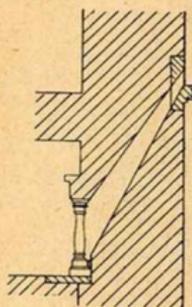


Fig. 8.

Beaucoup d'entre nous ont passé leur enfance, ou tout au moins leurs vacances scolaires, dans ces vieilles fermes de la Touraine, de l'Anjou, de la Bretagne, de la Vendée, etc., où existent encore ces grandes cheminées de 1<sup>m</sup>,50 de large, 1<sup>m</sup>,80 de haut, avec leur manteau en pierre, leur âtre carrelé, la plaque de fond en fonte ornée, quelquefois les

beaux chenêts en fer forgé, que s'arrachent aujourd'hui les collectionneurs, la crémaillère pendue le long du mur, dans la hotte, et à laquelle s'accrochait la marmite.

Une poignée de tiges de chanvre décortiquées et bien sèches, des chènevottes, comme on dit dans l'Anjou, préparait la flamme pour le joyeux fagot pétillant, quelques morceaux de troncs d'arbres, qui ensuite se consumaient lentement, tisonnés par l'aïeule, voici le feu de famille, autour duquel petits et grands s'assemblent frileusement pour passer la veillée, les jambes cuites à la flamme, le dos glacé par les courants d'air !

Quelle joie chez les enfants quand le petit ramoneur, avec sa figure noire, ses dents blanches, ses pauvres habits rapiécés de cuir, s'aidant des coudes et des genoux, tiré par une grosse corde que maintenait son patron, à cheval sur la souche, montait pour gratter la suie.

Hélas ! le bois a disparu, l'espace est devenu plus mesuré, nos tempéraments affinés veulent plus de chaleur, la grande cheminée de nos grands-pères a vécu.

Ce furent des physiciens, Philibert Delorme, Gauger, Franklin, Montgolfier, qui perfectionnèrent les cheminées, réduisant les sections de fumée, facilitant les départs par des hottes inclinées, ajoutant les chambranles.

Ce fut le physicien anglais Rumford, qui, après de nombreuses

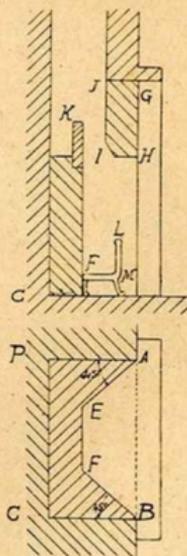


Fig. 9.

recherches, formula les règles qui permirent d'obtenir des résultats meilleurs pour le tirage des cheminées.

La méthode de Rumford (*fig. 9*) n'est, du reste, plus exactement suivie pour les cheminées qui portent son nom, et qu'on construit encore dans nos maisons modernes.

Il la formulait ainsi (SER, *Physique industrielle*) : Soit ABCD l'âtre d'une cheminée ordinaire ; on le rétrécit par deux contre-cœurs AE et BF inclinés à  $45^\circ$ , et un fond d'âtre EF égal au  $\frac{1}{3}$  de AB. On construit un manteau GHIJ, évasé en I, tel que la distance de la paroi IJ au fond EF = 4 pouces (soit  $0^m,10$ ), et que IJ = 6 pouces (soit  $0^m,15$ ).

La hauteur IL, de la grille au manteau, doit être de 14 à 20 pouces, soit  $0,35$  à  $0^m,50$ , suivant la hauteur de la cheminée, avec cette condition que la face LM de la grille doit toujours être en dedans de la face GH du manteau.

La brique K doit pouvoir se démonter pour faciliter les ramonages, et le cul-de-sac derrière est indispensable pour supprimer l'effet du vent.

Peu après, le physicien français Lhomond inventa la cheminée à tablier mobile qui porte son nom, et qui fut un très grand perfectionnement, permettant de supprimer la fumée au moment de l'allumage.

Aujourd'hui ces deux cheminées, modifiées dans leurs détails, sont employées en France, la cheminée Rumford dans les pièces décoratives, la cheminée Lhomond dans toutes les autres pièces.

Ce ne fut que plus tard qu'on inventa la ventouse, pour amener à la cheminée l'air nécessaire à la combustion. Cette ventouse a été rendue réglementaire à Paris par divers arrêtés de police, et notamment par celui du Préfet de la Seine en date du 1<sup>er</sup> septembre 1897.

Les sections des tuyaux de fumée ont été de beaucoup diminuées, maintenant qu'on a des procédés de nettoyage évitant de faire grimper le ramoneur dans la cheminée, et qu'on a reconnu que les trop grands conduits laissaient refroidir la fumée, et donnaient naissance à des courants descendants incompatibles avec un bon tirage.

Le même arrêté du Préfet de la Seine indique comme minimum une section carrée de  $0,20 \times 0,20$ , et comme proportions un carré, ou un rectangle, dont le plus grand côté n'a pas plus de 1 fois et demie la dimension du plus petit, ce qui représente comme sections les plus ordinairement employées  $0,20 \times 0,30$ ,  $0,30 \times 0,30$ ,  $0,30 \times 0,40$ ,  $0,40 \times 0,40$ ,  $0,40 \times 0,60$ , etc.

De nombreuses dispositions de cheminées furent successivement inventées, soit pour mieux utiliser la chaleur du bois, soit pour utiliser un autre combustible, comme le charbon de terre, le coke, etc.

L'architecte Savot a fait établir, dès 1620, dans le cabinet des Livres au palais du Louvre, une cheminée avec récupérateur de chaleur. L'âtre était soulevé par une plaque de tôle laissant en dessous un vide pour

l'aspiration de l'air, et un coffre creux en fonte formait le fond et les contre-cœurs. L'air s'échauffait en montant dans le coffre, et sortait sur les côtés par des bouches de chaleur.

Cette disposition est encore aujourd'hui le type des cheminées Pichon-d'Anthonay, Fondet, Cordier, Lamy, Doulton, etc.

Plus tard, Pécelet proposa d'augmenter la durée de contact des gaz chauds en plaçant dans le conduit vertical un conduit en tôle qui recevait l'air extérieur à la partie basse, et se terminait par une bouche de chaleur à la partie haute ; puis, comme cette disposition rendait difficile le ramonage, il inversa le système et fit passer la fumée dans le tuyau en tôle et l'air chaud autour.

Cette méthode n'est plus employée aujourd'hui que pour ventiler certains locaux, comme les cuisines ou les chaufferies. On place un tuyau en tôle vertical, conduisant la fumée à l'extérieur, au milieu d'un conduit vertical en maçonnerie qui communique avec la pièce à ventiler. La colonne ascensionnelle d'air chaud qui s'établit assure une ventilation très énergique du local considéré (1).

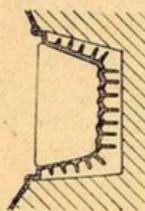
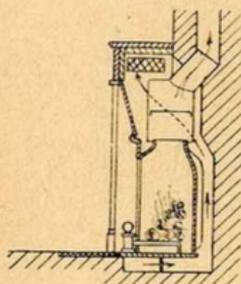


FIG. 10.

Vers 1850, Joly construisit une disposition qui eut un très grand succès (fig. 10). Il introduisait dans l'âtre de la cheminée une coquille en fonte, lisse du côté du foyer, et à nervures du côté extérieur, et la surmontait au-dessus d'un coffre en tôle, avec une ou deux chicanes, qui augmentaient la durée de parcours de la fumée avant son arrivée à la cheminée.

L'air frais arrivait de l'extérieur par un conduit de ventouse, débouchant sous l'âtre en fonte, montait entre les contre-cœurs et le fond, au contact des parois à nervures de la coquille, s'échauffait encore sur le coffre en tôle, et sortait par deux bouches de chaleur sur les côtés du marbre.

La cheminée Joly a servi de type aux foyers de la Compagnie du Gaz et aux fort nombreux modèles de coquilles actuellement encore en usage aujourd'hui un peu partout.

1. Cette disposition de cheminée tubée, malgré ses avantages, n'est autorisée que sous certaines réserves, qui en rendent l'emploi à peu près impossible dans tout le ressort de la Préfecture de Police de la Seine (Ordonnance du 27 mars 1906).



En 1619, un *Traité sur les poêles* fut publié par François Keslar, et déjà on connaissait en Allemagne la circulation de la fumée en chicane, les prises d'air, les tampons de ramonage, l'ouverture du foyer en dehors de la pièce chauffée.

Dès 1744, Franklin signalait que, dans les cheminées ordinaires, la plus forte chaleur du feu, qui est à la partie supérieure, monte directement dans le tuyau de la cheminée et se dissipe en pure perte ; que le courant d'air qui se forme dans la cheminée est si fort qu'il emporte, non seulement la chaleur d'en haut, mais celle des côtés, du derrière et d'en bas, et que même la chaleur que le feu pousse en avant, et dont les rayons se portent dans la chambre, est continuellement renvoyée dans la cheminée et chassée vers le tuyau par ce même courant. Et Franklin proposait comme remède un poêle en fer, à fumée renversée, qu'il avait inventé, et auquel il donnait le nom de « poêle de Pensylvanie ».

Les poêles en faïence employés dans le Nord, dans l'Est, en Russie, en Suède, en Norvège, en Alsace, en Suisse, paraissent plus anciens, et la Manufacture nationale de Sèvres en possède des échantillons qui remontent à la seconde moitié du xvi<sup>e</sup> siècle.

Depuis, les formes de poêles ont varié et se sont multipliées à l'infini : poêles à enveloppes en tôle, en fonte, en faïence, poêles à chauffage direct, poêles à feu actif, ou à combustion lente et continue, nous avons le choix entre des milliers de modèles, à la portée de tous les goûts et de toutes les bourses.

Les poêles sont des appareils très bons, au point de vue de l'utilisation du combustible. Certains d'entre eux, bien étudiés, bien construits, utilisent depuis 65 0/0 jusqu'à 85 0/0 de la puissance calorifique du charbon.

Aussi sont-ils, et resteront-ils longtemps, l'appareil de chauffage par excellence non seulement des pauvres, mais encore de la plus grande partie de la population du globe, de tous ceux qui ne peuvent se payer le luxe d'habiter les maisons chauffées par des méthodes modernes de chauffage central.

Depuis 3 francs jusqu'à 150 et 200 francs, et même plus, il existe des poêles pour toutes les bourses.

Construits pour brûler du bois, de la houille, du coke, de l'antracite, les poêles sont répandus dans le monde entier, aussi bien dans les campagnes que dans les villes.

Simple ou luxueux, ronds, carrés, hauts, bas, poêles de corps de gardes, poêles de bureaux, poêles de salles à manger, poêles d'écoles, poêles-cuisinières, ils sont appropriés aux emplois les plus divers.

On a créé des poêles à gaz, des poêles à pétrole, des poêles à alcool ; on a construit des poêles mobiles, qui se transportent d'une pièce dans une autre ; il existe des poêles en maçonnerie faisant partie de l'im-

meuble et installés par le propriétaire : on a inventé, en un mot, des appareils qui trouvent leur place dans le logis du plus humble artisan, comme dans les bureaux des fonctionnaires et les salons les plus aristocratiques.

Les calorifères à air chaud sont une conséquence de l'évolution des cheminées et des poêles. Si on en exempte le calorifère romain dont parle Pline, on ne peut faire remonter, du moins dans notre pays, les calorifères à air chaud plus loin que la première moitié de notre siècle.

Ce fut la cheminée améliorée de Pécelet qui donna l'idée du calorifère à air chaud. Descroizilles, puis Chaussonot, imaginèrent des appareils à surface de chauffe métallique, autour desquels circulait l'air arrivant d'une prise extérieure, et distribué à plusieurs pièces, et les appareils Chaussonot eurent une grande vogue.

Cerbelaud, Hurez, puis Piet-Bellan, perfectionnèrent ces appareils. La maison Piet-Bellan, puis plus tard Geneste et Herscher, construisirent des appareils en terre réfractaire, qui répondaient déjà aux reproches de chauffages antihygiéniques que l'on fit, dès l'origine, aux calorifères à air chaud. Michel Perret, puis plus tard ses élèves et collaborateurs Robin, Drevet et Lebigre, et leurs successeurs, Bœringer, etc., s'adonnèrent aux calorifères capables de brûler les combustibles en poussières, déchets, balayures de chantiers.

Le chauffage par la vapeur à basse pression a maintenant complètement détrôné le calorifère à air chaud, qui, jusqu'à 1890, jouissait d'une grande vogue. Mais on peut dire que ce sont surtout les fumistes ignorants, inconscients et sans scrupules, qui, mal guidés par des architectes les poussant à l'extrême limite du bon marché, ont vraiment tué le calorifère à air chaud, leur poule aux œufs d'or, en construisant des appareils si défectueux qu'aucun défenseur sérieux ne pouvait les soutenir.

En réalité, un appareil calorifère bien établi, avec un foyer et des surfaces de chauffe bien étanches, avec des proportions bien comprises, bien étudiées, et une construction sérieuse, est un excellent appareil de chauffage.

Le chauffage par la vapeur et le chauffage par l'eau chaude datent à peu près de la même époque. L'Anglais Trégold fait remonter le chauffage à vapeur à un constructeur anglais en 1745, et cite un chauffage de filature qui, installé en 1799, fonctionne encore de nos jours presque sans transformations.

En France, une Commission composée de Gay-Lussac, Thénard, Darcet, fit exécuter en 1828 le premier grand chauffage à vapeur au palais de la Bourse, à Paris.

Le premier chauffage à eau chaude fut, d'après M. Ser, installé en France par Bonnemain en 1777. En 1850, M. Grouvelle père installa le chauffage par l'eau chaude, chauffée par la vapeur, à la prison de Mazas.

Depuis ce temps, Grouvelle père, Thomas-Laurens, Duvoir-Leblanc, Geneste et Herscher, Piet-Bellan, installèrent concurremment des chauffages à vapeur et des chauffages à eau chaude. MM. Thomas-Laurens installèrent même avec succès un chauffage à vapeur, avec circulation d'air chaud au moyen d'un ventilateur à force centrifuge, premier Aéro-Calorifère, ou première application du *Plenum system* ou *Hol Blast system*, comme les désignent les Anglais et les Américains.

C'est dans la période de 1872 à 1878 que la maison Geneste et Herscher installa les grands chauffages à vapeur avec purgeurs automatiques de l'hôtel de ville de Paris, des grands lycées, de la maison départementale de Nanterre, du palais de justice de Bruxelles, etc.

Ce furent les maisons Duvoir-Leblanc, d'Hamelin-court, Anceau, etc., qui donnèrent le plus grand développement au chauffage par l'eau chaude à basse pression. A cette époque, en même temps que M. Gandillot faisait vraiment sienne l'invention de l'Anglais Perkins pour le chauffage par l'eau chaude à très haute pression, MM. Grouvelle et Geneste et Herscher perfectionnaient ce dernier chauffage avec le microsiphon, et l'appliquaient aux chauffages d'écoles et aux chauffages particuliers.

Mais ce n'est qu'à partir de 1889 que fut importé d'Amérique en France, soit par Geneste et Herscher avec le *Thermo-Cycle*, soit par Henry Hamelle avec le chauffage à un tuyau, soit par Kœrting frères par leur maison d'Allemagne, le chauffage par la vapeur à basse pression, qui a pris maintenant une telle extension et est devenu vraiment un chauffage domestique, à la portée de toutes les bourses et de toutes les mains-d'œuvre.

Le chauffage par le gaz fut inventé par Philippe Lebon, qui prit ses premiers brevets le 6 vendémiaire an VIII (28 septembre 1799) et le 7 fructidor an IX (25 août 1801). Mais c'est Bunsen, dont les appareils sont maintenant universellement connus, qui est vraiment le père du chauffage par le gaz.

La Compagnie parisienne du Gaz, qui, dès l'origine, installa un laboratoire d'études et d'essais, exposait dès 1855 des appareils de chauffage par le gaz, avec foyer doublé d'amiante. Ce furent, successivement, elle et ses collaborateurs, puis ses entrepreneurs, qui contribuèrent le plus en France à l'amélioration de la combustion du gaz, de la récupération et de l'utilisation de la chaleur produite.

Les appareils de chauffage par le gaz sont beaucoup plus employés à l'étranger, en Angleterre, en Belgique, en Allemagne, aux États-Unis, qu'en France. Cela tient au prix vraiment trop exagéré du gaz dans notre pays, conséquence des monopoles accordés à toutes les Compagnies d'éclairage de nos villes.

Le chauffage par le pétrole est encore dans l'enfance chez nous, tant

en raison du prix exagéré de ce combustible que de la difficulté presque insurmontable qu'on rencontre pour arriver à le brûler sans odeur. C'est, du reste, dans tous les pays, plutôt un combustible industriel.

Quant au chauffage par l'alcool, nous devons dire que nous n'avons pas encore d'appareils vraiment pratiques, à l'exception des petits réchauds de cuisine. Les recherches de M. Denayrouze et de sa Société arriveront sans doute à produire des appareils pratiques, quand les impôts, dont ce combustible vraiment national est grevé, auront suffisamment diminué pour permettre d'en envisager l'emploi. Le prix élevé, 0 fr. 60 à 0 fr. 70 le litre d'alcool dénaturé, ne permet pas jusqu'ici de chercher à s'en servir dans l'économie domestique<sup>1</sup>.

Nous consacrerons à la fin de cet ouvrage un Chapitre spécial à la *Théorie de la Ventilation*. Nous n'osons pas dire à la *pratique*, car, à la vérité, on ne fait pour ainsi dire jamais de ventilation dans les bâtiments, en France, sauf dans les Ateliers où elle correspond à une nécessité de fabrication, et aussi dans ceux où elle est imposée par la loi de 1902 relative à l'Hygiène.

Pourtant, dès 1800, on cherchait à ventiler les grands édifices, en construisant des cheminées dans lesquelles l'appel d'air était produit au moyen d'un foyer, ce qui, en raison de la faible vitesse, obligeait à de très grandes sections.

Les savantes recherches du général Morin méritaient d'être suivies dans la pratique, il n'en fut pas ainsi.

On se contenta de ventiler mécaniquement les grands édifices. MM. Thomas Laurens, de 1840 à 1844, tentèrent la ventilation du palais du Luxembourg, qu'on s'accorde à reconnaître défectueuse depuis cette date, sans chercher le moyen d'y remédier.

M. Ser, qui est vraiment le créateur de la théorie des ventilateurs centrifuges, tenta vainement de les appliquer à la ventilation des hôpitaux.

On verra, dans le cours du Chapitre que nous réservons à la ventilation, à la fin de cet ouvrage, que la question n'a pas fait un pas depuis, et qu'on se contente des cheminées ordinaires, des fissures qui existent sous les portes, de l'ouverture des fenêtres, pour ventiler nos habitations.

La question reste actuellement sans solution pratique, nos maisons ne sont pas ventilées.

1. Prix d'avant-guerre.

---

## CHAPITRE III

### QUELQUES NOTES TECHNIQUES

Il est impossible de bien comprendre l'étude des appareils de chauffage sans avoir une notion précise des lois physiques qui régissent la production et la transmission de la chaleur. Aussi un ouvrage sur le chauffage doit-il être précédé d'une courte révision des phénomènes qui accompagnent la chaleur, et qui sont étroitement liés à son utilisation.

Qu'est-ce donc que la chaleur? Comment se transmet-elle?

Deux théories, parmi quelques dizaines d'hypothèses, ont été successivement admises par les physiciens pour expliquer la nature de la chaleur.

La première théorie, basée sur la loi naturelle établie par Lavoisier: « Rien ne se perd, rien ne se crée », s'appelle *théorie des émissions*. Elle est, du reste, abandonnée aujourd'hui.

Elle supposait l'existence d'un fluide matériel, impondérable, incoercible, nommé *calorique*, dont les atomes, se repoussant constamment, étaient projetés dans toutes les directions et à toutes les distances, s'emmagasinant dans les corps en quantités plus ou moins grandes, et placés entre leurs molécules, dont ils empêchaient le contact.

Un corps froid contenait peu de calorique, un corps chaud en contenait beaucoup; s'il entraînait du calorique dans un corps, celui-ci devenait plus chaud; s'il sortait du calorique de ce corps, il se refroidissait.

Le calorique existait dans l'univers en quantité constante, et un corps ne recevait du calorique, c'est-à-dire ne se réchauffait, qu'aux dépens d'un ou plusieurs autres corps, qui devenaient plus froids. Il n'y avait donc, en réalité, dans la nature, qu'un déplacement de calorique, mais nullement création de ce fluide.

Pour expliquer certains changements d'état qui se produisent dans les corps lorsqu'ils absorbent une quantité de chaleur qui devient insensible au toucher, et qu'on ne peut même mesurer par des appareils, on disait que la chaleur était devenue *latente*.

Cette théorie de Lavoisier fut longtemps admise par des savants

illustres, Newton, Laplace, Gay-Lussac, etc., et certaines expressions créées pour l'expliquer, comme *calorique*, *chaleur latente*, sont encore employées aujourd'hui.

La théorie actuelle s'appelle *thermodynamique*, ou hypothèse des *ondulations* ; elle fut établie par Bernoulli.

Elle admet que les corps sont composés de molécules, ou infiniment petits, animés sans cesse de mouvements vibratoires extrêmement rapides, mais de très petite amplitude. Ce sont ces vibrations qui produisent la chaleur, et un corps est d'autant plus chaud que les vibrations sont plus rapides.

La transmission des vibrations se fait à l'infini par l'intermédiaire de l'éther, milieu infiniment élastique, qui existe dans tous les corps de l'univers entre leurs molécules.

Ce sont les vibrations des corps, transmises par l'éther sous la forme de groupements nommés des *ondes* qui transportent au loin la chaleur.

On remarquera, du reste, que cette théorie des ondulations permet d'expliquer tous les phénomènes physiques de transmissions, par exemple la transmission du son, celle de la lumière, etc.

Tous les phénomènes de la chaleur ont donc pour origine une cause unique, le *mouvement*. Un corps qui se refroidit est celui dont les mouvements vibratoires des molécules se ralentissent ; un corps qui s'échauffe est celui dont les molécules vibrent de plus en plus vite.

Quand les vibrations d'un corps se transmettent à un autre, il se produit dans celui-ci deux effets : l'un, qui augmente la rapidité des vibrations, c'est-à-dire la chaleur de ce second corps ; l'autre, qui produit à la fois un *travail intérieur*, lequel tend à combattre les forces qui relient ensemble les molécules, et un *travail extérieur*, qui tend à combattre les forces agissant sur ce corps, pression, pesanteur, etc., de manière à faciliter l'éloignement de ses molécules l'une de l'autre, c'est-à-dire à augmenter de volume, ou à se dilater, et, à la limite, à fondre, puis à vaporiser.

Newton, bien qu'attaché à la théorie de l'émission, admettait que la chaleur consistait en un mouvement interne des corps. Rumford et Montgolfier démontrèrent que le mouvement se transforme en chaleur.

En 1839, le physicien français Seguin établit la loi physique : « Le travail mécanique développé pendant l'abaissement de température d'un corps est la mesure de sa chaleur perdue. »

En 1842, le Dr Mayer, d'Heilbronn, détermina la loi qui relie la quantité de chaleur et le travail mécanique qu'elle produit.

Enfin, en 1843, Joule, de Manchester, fixa définitivement l'équivalent mécanique de la chaleur, base de la thermodynamique, et énonça

### QUELQUES NOTES TECHNIQUES

cette loi, universellement admise aujourd'hui : *Toute quantité de force vive qui disparaît en travail se reproduit en chaleur, et réciproquement.*

Cette loi s'écrit :

$$E = \frac{T}{Q}$$

expression dans laquelle :

E est l'équivalent mécanique de la chaleur ;

T est le travail en kilogrammètres ;

Q, le nombre de calories produites.

Le Dr Mayer avait trouvé :

$$E = 424,3 \text{ kilogrammètres.}$$

Joule établit avec un calorimètre :

$$E = 425,$$

Enfin, M. Hirn et M. Favre trouvèrent :

$$E = 424,$$

nombre adopté aujourd'hui pour l'*équivalent mécanique* de la chaleur.

Par exemple, lorsqu'on frappe sur un corps avec un marteau, le mouvement mécanique est détruit, la force se perd, mais le corps s'échauffe.

Lorsqu'on frotte rapidement deux morceaux de bois l'un contre l'autre, l'effort employé pour le frottement disparaît, mais le bois s'échauffe, et finit même par s'enflammer. Ce fut le premier moyen employé par l'homme pour faire du feu ; c'est encore, ajouté aux phénomènes chimiques, la théorie sur laquelle sont basées nos allumettes.

Les savants Colding (de Copenhague), Clausius (de Zurich), Rankine (de Glasgow), Thompson (d'Edimbourg), Tyndall (de Londres), Hirn (de Colmar), Dupré (de Rennes), Cazin, Regnault, Verdel (de Paris), ont, par leurs travaux, leurs expériences et leurs ouvrages, établi d'une manière définitive la théorie dynamique de la chaleur.

### EFFETS DE LA CHALEUR

Nous avons dit précédemment que, lorsque les mouvements vibratoires des molécules d'un corps deviennent plus rapides, sous l'influence simultanée du travail interne, qui tend à éloigner l'une de l'autre ces molécules, et du travail externe, qui tend à diminuer les forces extérieures agissant sur lui, le corps augmente de volume, c'est-à-dire se dilate.

Le premier effet de la chaleur est donc de dilater les corps.

Si le mouvement vibratoire s'accélère, les corps changent d'état, passent d'abord à l'état liquide, puis ensuite à l'état de vapeurs.

A la limite, l'équilibre moléculaire est détruit, et les corps composés se séparent, c'est-à-dire se décomposent.

**Dilatation des solides.** — La dilatation s'exprime en longueur, c'est la *dilatation linéaire* ; ou en volume, c'est la dilatation *cubique*.

On trouve dans tous les formulaires les coefficients de dilatation linéaire des corps solides, c'est-à-dire la proportion suivant laquelle ces corps augmentent de longueur sous une différence de température de 1°.

Glace (eau congelée) . . . . .	0,00000050	Grès rouge . . . . .	0,00001715
Bois . . . . .	0,000003	Cuivre . . . . .	0,000017182
Pierre calcaire . . . . .	0,000008	Bronze . . . . .	0,000018167
Verre . . . . .	0,00000861	{ étain.. 8 }	
Granit . . . . .	0,00000869	{ cuivre. 1 }	
Platine . . . . .	0,000008842	Laiton . . . . .	0,000018782
Fonte . . . . .	0,00001125	Argent . . . . .	0,000019097
Acier recuit . . . . .	0,00001160	Brasure . . . . .	0,00002058
Marbre blanc . . . . .	0,000012020	{ cuivre. 2 }	
Fer . . . . .	0,000012204	{ étain.. 1 }	
Fer étiré à la filière . . . . .	0,00001235	Soudure . . . . .	0,00002505
Acier trempé . . . . .	0,000012395	{ étain.. 1 }	
Béton de ciment . . . . .	0,000014129	{ plomb. 2 }	
Or . . . . .	0,000014660	Plomb . . . . .	0,000028575
		Zinc . . . . .	0,000029417
		Zinc écroui . . . . .	0,00003108

Si on appelle  $K$  le coefficient de dilatation linéaire, l'allongement correspondant à  $t$  est  $KtL$ , et la longueur d'une barre, qui était de  $L_0$  à  $0^\circ$ , devient à  $t$  :

$$L_t = L_0 + KtL_0 = L_0(1 + Kt).$$

**Dilatation cubique.** — Le coefficient de dilatation cubique est égal à 3 fois le coefficient de dilatation linéaire, d'où on déduit le volume  $V_t$  d'un corps à  $t^\circ$ , connaissant son volume  $V_0$  à  $0^\circ$  :

$$V_t = V_0(1 + 3Kt).$$

**Densités.** — On appelle densité, ou poids spécifique d'un corps, le poids de l'unité de volume de ce corps, par exemple de 1 décimètre cube, à la température de  $0^\circ$ .

Lorsqu'on chauffe un corps, son volume augmente, mais son poids ne change pas ; par conséquent, sa densité diminue. La densité d'un corps varie donc en raison inverse de sa température :

$$D_t = \frac{D_0}{1 + 3Kt}$$

QUELQUES NOTES TECHNIQUES

DENSITÉS DE QUELQUES CORPS SOLIDES

Acier.....	7,2 à 7,9	Glace à 0°.....	0,92
Aluminium.....	2,56 à 2,72	Graphite.....	2,2
Anthracite.....	1,4	Granit.....	2,8
Argent.....	10,47	Grès.....	2,5
Argile ou terre à four	1,5 à 2,8	Gypse (pierre à plâtre).....	2,2
Béton.....	1,9 à 2,8	Houille.....	1,2 à 1,5
Bois :		Houille (en petits morceaux, comp l. vides).....	0,8 à 1,00
Acacia.....	0,7 à 0,8	Houille (en gros morceaux, comp l. vides).....	0,9 à 1,10
Aulne.....	0,5 à 0,6	Laiton.....	8,5
Bouleau.....	1,04	Lignite.....	1,1 à 1,2
Charme.....	0,76	Mâchefer.....	0,8 à 1,00
Chêne.....	0,6 à 0,9	Maçon- ( Briques..	1,4 à 1,7
Érable.....	0,65	nerie ( Meulière.	2 à 2,1
Frêne.....	0,7 à 0,85	Moellons.	2,4 à 2,5
Liège.....	0,21	Marbre.....	2,65 à 2,85
Noyer.....	0,7 à 0,92	Mercure.....	13,596
Orme.....	0,55 à 0,72	Neige.....	0,2
Peuplier.....	0,38 à 0,47	Nickel.....	8,3 à 8,9
Pin.....	0,55 à 0,65	Or.....	19,26 à 19,36
Poirier.....	0,73	Phosphore.....	1,77
Pommier.....	0,735	Platine.....	21,2 à 23
Prunier.....	0,87	Plâtre.....	0,97 à 1,4
Sapin.....	0,56	Plomb.....	11,35
Saule.....	0,5	Porcelaine.....	2,45 à 2,65
Tilleul.....	0,6	Pyrite.....	5
Brique rouge.....	2 à 2,2	Sable.....	1,4 à 1,9
Brique dure.....	1,4 à 2,6	Sel gemme.....	2,2
Bronze.....	8,6 à 9,2	Tourbe.....	0,5 à 0,8
Caoutchouc.....	0,9 à 1,7	Verre.....	2,5 à 3,5
Chaux.....	0,8 à 1,40	Zinc.....	6,8 à 7,3
Ciment.....	2,7 à 3		
Cristal.....	2,9 à 3,3		
Cuivre.....	8,4 à 8,95		
Étain.....	7,29		
Fer.....	7,8 à 7,9		
Fonte.....	6,8 à 7,8		

**Dilatation des liquides.** — La dilatation des liquides est assez délicate à mesurer, parce que les liquides ne peuvent être observés seuls, et doivent forcément être contenus dans une enveloppe solide, qui se dilate en même temps qu'eux, mais suivant une proportion différente.

De plus, le coefficient de dilatation des liquides n'est pas constant : il va généralement en croissant avec la température, sauf celui du mercure, qui est sensiblement régulier de  $-36$  à  $+100^{\circ}$ .

Le physicien Dalton a établi les coefficients moyens de dilatation des liquides principaux, entre 0 et  $100^{\circ}$ .

LE CHAUFFAGE DES HABITATIONS

Mercure.....	0,01543	Essence de térébenthine ..	0,07
Eau distillée.....	0,0466	Éther sulfurique .....	0,07
Eau saturée de sel marin...	0,05	Huiles fixes.....	0,08
Acide sulfurique.....	0,06	Acide azotique .....	0,11
Acide chlorhydrique.....	0,06	Alcool.....	0,116

L'eau offre cette particularité remarquable que, lorsqu'elle se refroidit, elle se contracte jusqu'à + 4°, puis se dilate ensuite jusqu'à 0°, qui est son point de congélation.

L'eau a donc un maximum de densité à + 4°.

Despretz a établi comme suit la densité de l'eau aux diverses températures <sup>1</sup>.

DENSITÉ DE L'EAU

TEMPÉRATURES	DENSITÉS	TEMPÉRATURES	DENSITÉS	TEMPÉRATURES	DENSITÉS
0°	0,999873	15°	0,999125	30°	0,995688
1°	0,999927	16°	0,998978	35°	0,993804
2°	0,999966	17°	0,998794	40°	0,992332
3°	0,999999	18°	0,998612	45°	0,990242
4°	1	19°	0,998422	50°	0,988093
5°	0,999999	20°	0,998213	55°	0,985754
6°	0,999969	21°	0,998004	60°	0,983304
7°	0,999929	22°	0,997784	65°	0,980706
8°	0,999878	23°	0,997566	70°	0,977957
9°	0,999812	24°	0,997297	75°	0,975028
10°	0,999731	25°	0,997078	80°	0,971960
11°	0,999640	26°	0,996800	85°	0,968762
12°	0,999527	27°	0,996562	90°	0,965576
13°	0,999414	28°	0,996274	95°	0,962238
14°	0,999283	29°	0,995986	100°	0,958634

DENSITÉS DE QUELQUES LIQUIDES (A 0°)

Acétone.....	0,8	Eau de mer .....	1,026
Acide acétique (vinaigre)	1,06 à 1,08	Essence de térébenthine	0,86
— azotique .....	1,2 à 1,5	Éther .....	0,72
— hypoazotique ....	1,45	Glycérine.....	1,26
— cyanhydrique ....	0,7	Huile de lin.....	0,95
— chlorhydrique ....	1,2	Huile de naphte (pétrole)	0,84
— sulfurique .....	1,85	Huile de goudron.....	0,85
Alcool absolu .....	0,794	Lait .....	1,03
— du commerce ....	0,84	Mercure à 0°.....	13,596
Benzine .....	0,85	Sulfure de carbone ....	1,263
Eau distillée (à + 4°)..	1,00	Vin.....	0,99 à 1,00

1. Ces coefficients diffèrent quelque peu des coefficients employés par les Ingénieurs allemands. Nous avons cru intéressant de donner dans l'Appendice en fin du volume, les coefficients reproduits dans l'ouvrage de Rietschel : *Traité théorique et pratique de chauffage et de ventilation*.



**Dilatation des gaz.** — Les gaz sont les corps les plus dilatables ; la dilatation est presque régulière et les coefficients de dilatation sont presque égaux, pour tous les gaz.

Gay-Lussac avait déduit de ses expériences que tous les gaz, simples ou composés, ont le même coefficient de dilatation, égal à 0,00375.

Rudberg, Regnault, Magnus, ont successivement reconnu que le coefficient n'est pas tout à fait le même, et qu'il ne dépasse pas 0,003665 pour l'air atmosphérique.

Mais ce sont les expériences de Regnault qui ont définitivement établi les coefficients de dilatation des gaz :

- 1° Sous volume et pression variables ;
- 2° Sous volume constant et pression variable ;
- 3° Sous volume variable et pression constante.

Le coefficient de dilatation dans le troisième cas est toujours plus grand que dans le second.

Pour une même température, le coefficient de dilatation, sauf pour l'hydrogène, augmente avec la pression.

Enfin la différence entre le coefficient de dilatation à pression constante et celui à volume constant, à peine sensible pour l'air atmosphérique, est d'autant moindre, pour les autres gaz, que la température est plus élevée.

La loi de Gay-Lussac se rapproche donc d'autant plus de la réalité que les gaz sont à température plus élevée et à pression plus faible.

Regnault a établi les coefficients ci-après, pour une différence de température de 1° (entre 0° et 100°), et pour des pressions constantes, comprises entre 300 et 600 millimètres de mercure :

Acide sulfureux.....	0,003903	Oxyde de carbone .....	0,003669
Cyanogène .....	0,003877	Air atmosphérique.....	0,003665
Protoxyde d'azote .....	0,003719	Hydrogène.....	0,003661
Acide carbonique .....	0,003710		

Regnault a aussi établi les densités des gaz, l'air étant pris pour unité à 0°, sous pression constante de 760 millimètres, à l'altitude du Collège de France, qui est de 60 mètres, sous 48°50'14" de latitude.

Hydrogène.....	0,0693	Bioxyde d'azote .....	1,0388
— protocarboné...	0,559	Oxygène.....	1,1056
Gaz d'éclairage....	0,48 à 0,57	Acide sulfhydrique .....	1,1912
Gaz ammoniac .....	0,5967	— chlorhydrique.....	1,2472
Oxyde de carbone .....	0,9569	Protoxyde d'azote .....	1,5269
Acétylène.....	0,90	Acide carbonique .....	1,5291
Azote.....	0,9714	Cyanogène .....	1,8064
Hydrogène bicarboné (gaz oléfiant) .....	0,978	Acide sulfureux.....	2,2474
Air atmosphérique.....	1	Chlore.....	3,4216
		Acide iodhydrique .....	4,443

### LE CHAUFFAGE DES HABITATIONS

Il est souvent utile, dans les questions de chauffage, et surtout de séchage, de connaître quel sera le volume d'un gaz à une certaine température, étant donné le volume de ce gaz à une autre température.

Il est facile d'établir le volume d'après la formule :

$$V = 1 + \alpha t,$$

qu'on appelle le *binôme de dilatation des gaz*.

Mariotte a établi que les volumes d'un gaz, à température constante, varient en raison inverse des pressions :

$$\frac{V}{V_1} = \frac{p_1}{p}$$

Gay-Lussac a démontré que les volumes d'un gaz dont la température varie sont proportionnels au binôme de dilatation :

$$\frac{V}{V_1} = \frac{1 + \alpha t}{1 + \alpha t_1}$$

Le tableau ci-après donne les volumes de l'air sec  $1 + \alpha t$  aux diverses températures, de 0 à 150°.

TEMPÉR <sup>°C</sup>	VOLUMES 1 + at						
0	1,00000	38	1,13946	76	1,27892	114	1,41838
1	1,00367	39	1,14313	77	1,28259	115	1,42205
2	1,00734	40	1,14680	78	1,28626	116	1,42572
3	1,01101	41	1,15047	79	1,28993	117	1,42939
4	1,01468	42	1,15414	80	1,29360	118	1,43306
5	1,01835	43	1,15781	81	1,29727	119	1,43673
6	1,02202	44	1,16148	82	1,30094	120	1,44040
7	1,02569	45	1,16515	83	1,30461	121	1,44407
8	1,02936	46	1,16882	84	1,30828	122	1,44774
9	1,03303	47	1,17249	85	1,31195	123	1,45141
10	1,03670	48	1,17616	86	1,31562	124	1,45508
11	1,04037	49	1,17983	87	1,31929	125	1,45875
12	1,04404	50	1,18350	88	1,32296	126	1,46242
13	1,04771	51	1,18717	89	1,32663	127	1,46609
14	1,05138	52	1,19084	90	1,33030	128	1,46976
15	1,05505	53	1,19451	91	1,33397	129	1,47343
16	1,05872	54	1,19818	92	1,33764	130	1,47710
17	1,06239	55	1,20185	93	1,34131	131	1,48077
18	1,06606	56	1,20552	94	1,34498	132	1,48444
19	1,06973	57	1,20919	95	1,34865	133	1,48811
20	1,07340	58	1,21286	96	1,35232	134	1,49178
21	1,07707	59	1,21653	97	1,35599	135	1,49545
22	1,08074	60	1,22020	98	1,35966	136	1,49912
23	1,08441	61	1,22387	99	1,36333	137	1,50279
24	1,08808	62	1,22754	100	1,36700	138	1,50646
25	1,09175	63	1,23121	101	1,37067	139	1,51013
26	1,09542	64	1,23488	102	1,37434	140	1,51380
27	1,09909	65	1,23855	103	1,37801	141	1,51747
28	1,10276	66	1,24222	104	1,38168	142	1,52114
29	1,10643	67	1,24589	105	1,38535	143	1,52481
30	1,11010	68	1,24956	106	1,38902	144	1,52848
31	1,11377	69	1,25323	107	1,39269	145	1,53215
32	1,11744	70	1,25690	108	1,39636	146	1,53582
33	1,12111	71	1,26057	109	1,40003	147	1,53949
34	1,12478	72	1,26424	110	1,40370	148	1,54316
35	1,12845	73	1,26791	111	1,40737	149	1,54683
36	1,13212	74	1,27158	112	1,41104	150	1,55050
37	1,13579	75	1,27525	113	1,41471		

La densité de l'air par rapport à l'eau est de 0,001293, 1 litre d'air à 0° sous la pression de 760 millimètres pesant 1<sup>gr</sup>,293, et 1 litre d'eau à 4° pesant 1 kilogramme.

Les densités des autres gaz par rapport à l'eau s'obtiennent en multipliant les densités ci-dessus établies, par rapport à l'air, par 0,001293.

**Thermomètres.** — L'imperfection de nos sens ne nous permet que reconnaître si un corps est chaud ou s'il est froid, mais ne nous rend pas capables d'évaluer la température, même approximative, de ce corps.

On a utilisé la propriété que possède la chaleur de dilater les corps pour construire des instruments, nommés thermomètres, pyromètres, etc.,

permettant de mesurer les températures. Comme la dilatation des liquides est plus importante et plus régulière que celle des solides, on construit plus généralement les thermomètres avec des liquides, et on a choisi de préférence le mercure et l'alcool.

Le mercure a l'avantage de prendre rapidement la température des corps voisins, parce qu'il est bon conducteur de la chaleur, et aussi celui de ne bouillir qu'à une température élevée ; il peut donc être employé pour mesurer des températures relativement hautes ; l'alcool, au contraire, bout à température peu élevée, mais il ne se congèle qu'à très basse température.

L'invention des thermomètres date de 1597 ; on l'attribue à Galilée, physicien français, à Drebbel, médecin hollandais, ou à Sanctorius, médecin vénitien.

Un thermomètre (*fig. 11*) se compose d'un tube capillaire en verre, fermé à ses deux extrémités, et terminé à l'une d'elles par une ampoule cylindrique ou sphérique formant réservoir. Le mercure ou l'alcool est contenu dans l'ampoule et dans une partie du tube, et une échelle graduée, gravée sur le tube ou sur la planchette contre laquelle il est appliqué, fait connaître la dilatation du liquide.



FIG. 11.

Pour graduer le thermomètre, on le plonge dans un corps à température connue ; on l'y laisse pendant un certain temps, puis on marque par un trait de repère la hauteur du liquide dans le tube ; on fait ensuite la même opération en le plongeant dans un autre corps à une autre température connue, et on marque un second point de repère. Puis, admettant que la dilatation est régulière, on divise en parties égales l'intervalle compris entre les deux repères, et on prolonge la graduation au delà de ces deux points. On constitue ainsi une échelle sur laquelle il ne reste plus qu'à graver des chiffres pour la rendre lisible.

Comment détermine-t-on les chiffres ou points de bases ?

En 1714, Fahrenheit, médecin allemand, construisit un thermomètre à mercure, et prit pour point 0 la température d'un mélange de neige et de sel ammoniac, qui était le mélange le plus froid connu à cette époque. Il prit ensuite comme point maximum la température d'ébullition de l'eau à la pression atmosphérique. Il divisa enfin, on ne sait pourquoi, l'intervalle compris entre ces deux repères en 212 parties égales.

Ce thermomètre, qui ne correspond à aucune donnée scientifique, est toujours employé en Hollande, en Angleterre, aux États-Unis, et dans tous les pays soumis à l'influence anglaise.

En 1724, Delisle, physicien français, construisit un thermomètre à alcool, dans lequel il prit comme 0 le point d'ébullition de l'eau, et comme



second repère la température, absolument constante, d'une cave de l'Observatoire de Paris. Il gradua ensuite son échelle en 100 parties égales.

Ce thermomètre, employé pendant longtemps en Russie, est maintenant complètement abandonné.

En 1731, Réaumur, physicien français, construisit un thermomètre à alcool, dans lequel il prit comme 0 le point de congélation de l'eau, et comme maximum la température d'ébullition de l'eau. Il gradua l'intervalle compris entre ces deux repères en 80 parties égales.

Le thermomètre Réaumur est encore employé dans certaines industries dans le monde entier, et par quelques puissances, notamment la Russie.

En 1742, Celsius, physicien suédois, construisit un thermomètre pour lequel il prit les deux mêmes repères que Réaumur, mais il appela 100 le point de congélation, et 0 le point d'ébullition de l'eau. Il divisa son échelle en 100 parties égales. C'est le premier thermomètre centigrade.

Le botaniste français Linné, peu de temps après, inversa le système de graduation, donnant au point de congélation de l'eau le chiffre 0, et le chiffre 100 au point d'ébullition. C'est le thermomètre employé aujourd'hui en France, dans toutes les puissances de l'Europe occidentale, et par le monde scientifique de l'univers entier.

Comme, dans l'industrie du chauffage, on entend souvent les expressions de degrés centigrades, Réaumur ou Fahrenheit, il est utile de pouvoir transformer rapidement ces diverses notations en degrés centigrades.

Les thermomètres centigrade et Réaumur ont le même 0 ; 100° centigrades correspondent à 80° Réaumur. 1° centigrade égale donc  $\frac{8}{10}$  ou  $\frac{4}{5}$  de degré Réaumur ; inversement, 1° Réaumur égale  $\frac{5}{4}$  de degré centigrade.

Le 0 du thermomètre centigrade équivaut à + 32 du thermomètre Fahrenheit ; le point 100° du thermomètre centigrade correspond au point 212° du thermomètre Fahrenheit. Il en résulte que 100° C. égalent 212 — 32 = 180° Fahrenheit ; donc : 1° C. égale  $\frac{180}{100} = \frac{9}{5}$  de degré F. ; et, inversement, 1° F =  $\frac{5}{9}$  de degré C.

Pour traduire en degrés C. une température exprimée en degrés F., on commence par retrancher 32, puis on multiplie la différence par  $\frac{5}{9}$ . Par exemple :

$$122^{\circ} \text{ F.} = \frac{(122 - 32) \times 5}{9} = 50^{\circ} \text{ C.}$$

COMPARAISON ENTRE LES THERMOMÈTRES CENTIGRADE, RÉAUMUR,  
FAHRENHEIT

CENTIGRADE	RÉAUMUR	FAHRENHEIT	CENTIGRADE	RÉAUMUR	FAHRENHEIT	CENTIGRADE	RÉAUMUR	FAHRENHEIT
-17,77	-14,22	0	19	15,2	66,2	70	56	158
-17,22	-13,77	1	20	16	68	71	56,8	159,8
-16,66	-13,33	2	21	16,8	69,8	72	57,6	161,6
-16,11	-12,88	3	22	17,6	71,6	73	58,4	163,4
-15,55	-12,44	4	23	18,4	73,4	74	59,2	165,2
-15	-12	5	24	19,2	75,2	75	60	167
-14,44	-11,55	6	25	20	77	76	60,8	168,8
-13,88	-11,11	7	26	20,8	78,8	77	61,6	170,6
-13,33	-10,66	8	27	21,6	80,6	78	62,4	172,4
-12,77	-10,22	9	28	22,4	82,4	79	63,2	174,2
-12,22	-9,77	10	29	23,2	84,2	80	64	176
-11,66	-9,33	11	30	24	86	81	64,8	177,8
-11,11	-8,88	12	31	24,8	87,8	82	65,6	179,6
-10,55	-8,44	13	32	25,6	89,6	83	66,4	181,4
-10	-8,00	14	33	26,4	91,4	84	67,2	183,2
-9,44	-7,55	15	34	27,2	93,2	85	68	185
-8,88	-7,11	16	35	28	95	86	68,8	186,8
-8,33	-6,66	17	36	28,8	96,8	87	69,6	188,6
-7,77	-6,22	18	37	29,6	98,6	88	70,4	190,4
-7,22	-5,77	19	38	30,4	100,4	89	71,2	192,2
-6,66	-5,33	20	39	31,2	102,2	90	72	194
-6,11	-4,88	21	40	32	104	91	72,8	195,8
-5,55	-4,44	22	41	32,8	105,8	92	73,6	197,6
-4,99	-4,00	23	42	33,6	107,6	93	74,4	199,4
-4,44	-3,55	24	43	34,4	109,4	94	75,2	201,2
-3,88	-3,11	25	44	35,2	111,2	95	76	203
-3,33	-2,66	26	45	36	113	96	76,8	204,8
-2,77	-2,22	27	46	36,8	114,8	97	77,6	206,6
-2,22	-1,77	28	47	37,6	116,6	98	78,4	208,4
-1,66	-1,33	29	48	38,4	118,4	99	79,2	210,2
-1,11	-0,89	30	49	39,2	120,2	100	80	212
-0,55	-0,44	31	50	40	122	101	80,8	213,8
0	0	32	51	40,8	123,8	102	81,6	215,6
1	0,8	33,8	52	41,6	125,6	103	82,4	217,4
2	1,6	35,6	53	42,4	127,4	104	83,2	219,2
3	2,4	37,4	54	43,2	129,2	105	84	221
4	3,2	39,2	55	44	131	106	84,8	222,8
5	4	41	56	44,8	132,4	107	85,6	224,6
6	4,8	42,8	57	45,6	134,6	108	86,4	226,4
7	5,6	44,6	58	46,4	136,4	109	87,2	228,2
8	6,4	46,4	59	47,2	138,2	110	88	230
9	7,2	48,2	60	48	140	111	88,8	231,8
10	8	50	61	48,8	141,8	112	89,6	233,6
11	8,8	51,8	62	49,6	143,6	113	90,4	235,4
12	9,6	53,6	63	50,4	145,4	114	91,2	237,2
13	10,4	55,4	64	51,2	147,2	115	92	239
14	11,2	57,2	65	52	149	116	92,8	240,8
15	12	59	66	52,8	150,8	117	93,6	242,6
16	12,8	60,8	67	53,6	152,6	118	94,4	244,4
17	13,6	62,6	68	54,4	154,4	119	95,2	246,2
18	14,4	64,4	69	55,2	156,2	120	96	248

Inversement, pour traduire en degrés F. une température exprimée en degrés C., on multiplie par  $\frac{9}{5}$  et on ajoute 32.

Par exemple :

$$60^{\circ} \text{ C.} = \left( \frac{9}{5} \times 60 \right) + 32 = 140^{\circ} \text{ F.}$$

Les thermomètres à mercure sont, en général, gradués de  $-39^{\circ}$ , point de congélation du mercure à  $+350^{\circ}$ , point d'ébullition. Toutefois, la dilatation du mercure n'est régulière que de  $-36$  à  $+100^{\circ}$ , et les indications du thermomètre à mercure ne sont vraiment correctes qu'entre ces limites.

Le thermomètre à alcool ne peut être gradué régulièrement que jusqu'à  $70^{\circ}$ , point d'ébullition de l'alcool pur ; ses indications sont moins exactes que celles du thermomètre à mercure.

Les thermomètres ne sont rigoureusement exacts, du reste, que si la graduation est gravée sur le tube en verre lui-même. Quand le tube est simplement disposé sur une échelle graduée, un léger déplacement suffit pour rendre ses indications inexactes.

**Thermomètres à maxima et à minima.**— Dans l'industrie du chauffage, il est souvent utile de connaître la température maxima et la température minima qui ont existé dans un endroit pendant un laps de temps donné. Pour obtenir ce résultat, sans être obligé de surveiller constamment les indications du thermomètre, on emploie des appareils spéciaux, nommés thermomètres à maxima et à minima.

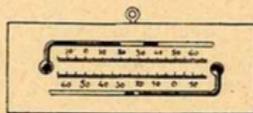


FIG. 12.

Rutherford imagina un ensemble de deux thermomètres, placés sur une même planchette, et composés de deux tubes recourbés horizontalement et contenant chacun un index (fig. 12).

Le thermomètre qui indique les températures maxima contient du mercure, et un index en fer. Comme il n'y a pas d'adhérence entre le mercure et le fer, le mercure pousse devant lui l'index lorsqu'il se dilate, mais ne l'entraîne pas lorsqu'il se contracte : l'index reste donc au point indiquant la température maximum.

Le thermomètre qui indique les températures minima est à alcool et contient un index en verre coloré. Quand l'index est à l'extrémité de la colonne d'alcool, il est légèrement mouillé et suit le mouvement de la colonne qui se contracte quand la température s'abaisse. Mais, si la température remonte, l'alcool passe par capillarité entre le tube et l'index,

celui-ci n'est pas entraîné ; il reste donc au point indiquant la température minima.

**Thermomètres enregistreurs.** — On a souvent besoin, pour contrôler la marche plus ou moins régulière d'un appareil de chauffage, par exemple pendant les expériences qui précèdent la réception des travaux d'installation, de contrôler la marche de cet appareil pendant un temps donné, huit jours par exemple. On emploie à cet usage des appareils nommés thermomètres enregistreurs. Ils se composent, en général (fig. 13)

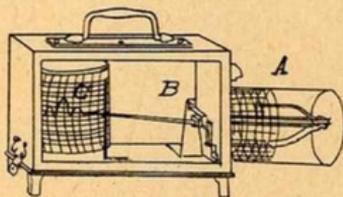


FIG. 13.

d'un récipient A en métal écroui, extrêmement mince et déformable, complètement rempli d'un liquide dilatable ; par l'intermédiaire d'un système de bielles amplifiant ses mouvements, ce récipient est relié à une tige BC, terminée par une plume contenant de l'encre, qui inscrit sur une feuille de papier les mouvements que lui communiquent les déformations successives du récipient, sous l'influence de la dilatation. Si on suppose que cette feuille de papier graduée en jours et en heures, et qu'elle est enroulée sur un cylindre mo-

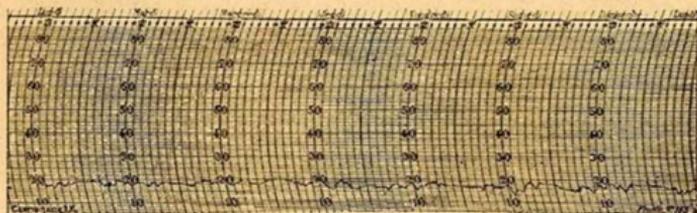


FIG. 14.

bile autour d'un axe et contenant à l'intérieur un mouvement d'horlogerie, on comprend que le cylindre vient placer régulièrement la graduation correspondante au jour et à l'heure devant la plume, et que celle-ci inscrit fidèlement, sous forme d'une courbe continue, les déformations du récipient, c'est-à-dire les variations de température de l'enceinte dans laquelle est placé le thermomètre.

Avec un tel appareil, bien réglé, fermé à clef, les vérifications de températures sont faciles et ne peuvent donner lieu à aucune contestation. Les températures se lisent sur une feuille qui fait foi (fig. 14) et indique tous les incidents de marche de l'appareil, les ouvertures de fenêtres qui

produisent un abaissement de température, le temps pendant lequel ces ouvertures ont été faites, etc.

**Pyromètres.** — Pour mesurer les hautes températures, par exemple les températures des séchoirs, étuves, celles des gaz chauds dans les cheminées, etc., on a recours à des appareils nommés pyromètres (fig. 15). Leur principe est basé sur les dilatations de deux métaux n'ayant pas le même coefficient de dilatation.

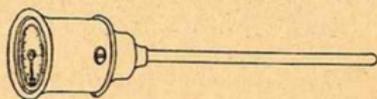


FIG. 15.

Par exemple, si deux barres de métaux différents sont soudées ensemble à une extrémité, et que l'autre extrémité vienne commander un système de bielles relié à une aiguille mobile sur un cadran gradué, les différences de dilatation font prendre diverses positions à l'aiguille, et permettent de lire ainsi, d'une manière relativement exacte, les températures correspondantes. Ces appareils ne donnent pas des indications très constantes, les coefficients de dilatation variant avec l'oxydation des métaux. Il faut les faire vérifier périodiquement.

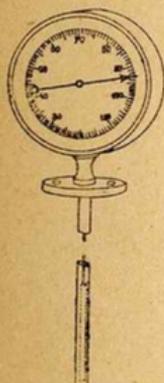


FIG. 16.

**Thermomètres et pyromètres à cadran.** — On peut encore constituer un pyromètre ou un thermomètre en remplissant complètement un tube en métal écroui déformable avec un liquide, de l'éther par exemple, et en raccordant l'une des extrémités du tube à une aiguille, qui se meut sur un cadran gradué (fig. 16). Les différentes pressions du liquide correspondent à des températures faciles à lire sur le cadran.

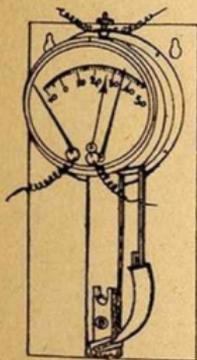


FIG. 17.

**Thermomètres et pyromètres avertisseurs.** — Ces appareils à cadran (fig. 18) peuvent recevoir un dispositif leur permettant

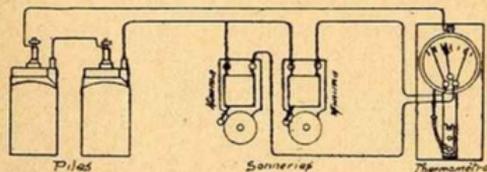


FIG. 18.

de signaler par une sonnerie électrique les températures maxima et minima qui peuvent exister dans un local. On raccorde pour cela (*fig. 18*) le pôle d'une pile à l'aiguille indicatrice, on ajoute deux contacts mobiles reliés respectivement à l'autre pôle, et on place ces contacts sur les graduations du cadran correspondant aux températures à ne pas dépasser. Quand l'aiguille touche l'un ou l'autre de ces contacts, le circuit électrique étant fermé, la sonnerie d'avertissement se fait entendre.

**Évaluations empiriques de la température.** — Dans l'industrie métallurgique, les ouvriers exercés arrivent à reconnaître approximativement les températures d'après la coloration que prend le fer chauffé.

Le tableau ci-dessous donne des évaluations sensiblement rapprochées de la vérité :

Rouge naissant .....	525°	Orangé foncé .....	1.100°
Rouge sombre .....	700°	Orangé clair.....	1.200°
Cerise naissant .....	800°	Blanc .....	1.300°
Cerise .....	900°	Blanc soudant .....	1.400°
Cerise clair .....	1.000°	Blanc éblouissant.....	1.500°

**Unités de chaleur.** — Les appareils précédemment cités, thermomètres, pyromètres, etc., permettent bien de mesurer les différences de températures des corps, mais ils n'indiquent pas les quantités de chaleur contenues dans ces corps.

La *calorimétrie* a pour objet la recherche des quantités de chaleur gagnées ou perdues par les différents corps lorsque leur température s'élève ou s'abaisse.

On appelle *chaleur spécifique* d'un corps la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 0 à 1° la température de 1 kilogramme de ce corps.

De nombreuses expériences faites par les physiiciens, avec des appareils nommés calorimètres, ont permis d'établir que les corps ont tous des chaleurs spécifiques différentes, et ont donné la mesure de chacune d'elles.

On a pris comme unité de comparaison la chaleur spécifique de l'eau, qu'on a représentée par 1, et qu'on a appelée *calorie*.

*Une calorie est donc la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 0 à 1° la température de 1 kilogramme d'eau.*

On donne, dans le système centimètre-gramme-seconde, le nom de *petite calorie* à la quantité de chaleur correspondant à l'élévation de température de 0 à 1° de 1 gramme d'eau.

Le système centimètre-gramme-seconde, ou C. G. S., a été adopté par le Congrès des Électriciens en 1881, et a pour base :

Unité de longueur = 1 centimètre,  
Unité de masse = 1 gramme,  
Unité de temps = 1 seconde.

**Chaleurs spécifiques des solides.** — La chaleur spécifique de l'eau étant égale à 1, les expériences de Tyndall, Black, Regnault, Lavoisier, Laplace, Dulong et Petit, etc., ont permis d'établir les chiffres ci-dessous pour les différents corps :

Eau distillée .....	1,0000	Plâtre .....	0,1966
Bois de pin .....	0,6500	Sulfate de potasse .....	0,1901
Bois de chêne.....	0,5700	Phosphore .....	0,1887
Glace (eau gelée) .....	0,5040	Laitier de hauts fourneaux.	0,1800
Mercure.....	0,3300	Chlorure de calcium.....	0,1642
Azotate de soude.....	0,2782	Diamant .....	0,1470
Carbonate de soude .....	0,2728	Pyrite de fer .....	0,1301
Noir animal .....	0,2609	Fonte .....	0,1298
Argile .....	0,2600	Acier.....	0,1175
Magnésium .....	0,2500	Fer.....	0,1138
Magnésie .....	0,2439	Nickel .....	0,1086
Charbon de bois .....	0,2411	Cobalt .....	0,1069
Briques..... 0,19 à	0,2410	Zinc .....	0,0956
Azotate de potasse.....	0,2388	Cuivre .....	0,0952
Sulfate de soude .....	0,2312	Laiton .....	0,0939
Grès .....	0,2200	Arsenic.....	0,0810
Aluminium .....	0,2181	Argent.....	0,0570
Chaux vive .....	0,2169	Étain .....	0,0562
Marbre blanc .....	0,2159	Iode .....	0,0541
Craie (carbonate de chaux)	0,2149	Antimoine .....	0,0508
Sel marin .....	0,2140	Soudure. } plomb.... 1 {	0,0451
Argile .....	0,2100	} étain.... 2 {	
Marbre gris .....	0,2099	Soudure. } plomb.... 1 {	0,0407
Granit .....	0,2034	} étain.... 1 {	
Soufre .....	0,2026	Mercure.....	0,0335
Graphite .....	0,2019	Or .....	0,0324
Coke .....	0,2009	Platine .....	0,0324
Cendres .....	0,2000	Plomb .....	0,0314
Verre des thermomètres....	0,1977	Bismuth .....	0,0308

Ces chaleurs spécifiques, du reste, ne sont pas constantes, quelle que soit la température ; elles augmentent d'autant plus que la température des corps se rapproche de celle de leur point de fusion.

**Chaleurs spécifiques des liquides.** — Ces chaleurs spécifiques ont été établies d'une manière analogue par Lavoisier, Laplace, Dalton, Despretz, le Dr Mayer, Dulong et Petit, etc., et sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Eau.....	1,000	Acide chlorhydrique.....	0,600
Vinaigre .....	0,920	Glycérine .....	0,580
Acide azotique .....	0,665	Ether sulfurique .....	0,516
Esprit-de-bois (de 23 à 43°)	0,645	Acide acétique.....	0,510
Alcool (de 23 à 43°) .....	0,605	Pétrole .....	0,500
Esprit-de-bois (de 15 à 20°)	0,601	Benzine (de 19 à 46°) .....	0,450

## LE CHAUFFAGE DES HABITATIONS

Térébenthine.....	0,426	Chloroforme .....	0,230
Azotate de soude.....	0,413	Phosphore (fondu) .....	0,204
Benzine (de 15 à 20°) .....	0,393	Iode .....	0,108
Acide sulfurique.....	0,335	Étain (fondu) .....	0,064
Azotate de potasse.....	0,332	Plomb (fondu).....	0,041
Huile d'olive.....	0,310	Bismuth (fondu) .....	0,037
Soufre (fondu) .....	0,234	Mercure.....	0,034

**Chaleurs spécifiques des gaz.** — Les chaleurs spécifiques des gaz ont été établies par rapport à celle de l'eau par les travaux de Delarocbe et Bérard (1812), de la Rive et Manet (1835), Clément et Désormes, Janin et Richard, etc. Le tableau ci-après indique les principales.

	SOUS VOLUME	SOUS PRESSION
	CONSTANT	CONSTANTE
Hydrogène .....	2,415	3,405
Hydrogène protocarboné .....	0,468	0,593
Essence de térébenthine .....	»	0,506
Ether sulfurique .....	0,453	0,481
Alcool (vapeur) .....	0,410	0,453
Gaz ammoniac .....	0,390	0,508
Benzine (vapeur) .....	0,350	0,375
Vapeur d'eau .....	0,334	0,475
Ethylène .....	0,300	0,370
Acétylène .....	0,270	0,370
Chlorure de méthyle .....	0,240	0,200
Oxyde de carbone .....	0,176	0,248
Azote .....	0,173	0,244
Air atmosphérique .....	0,1686	0,2375
Acide azotique .....	0,165	0,231
Protoxyde d'azote .....	0,160	0,210
Oxygène .....	0,155	0,218
Acide carbonique .....	0,154	0,216
Acide chlorhydrique .....	0,136	0,191
Acide sulfureux .....	0,120	0,150
Chlore .....	0,098	0,121

## FUSION DES CORPS

Nous savons déjà que, lorsque les corps s'échauffent, ils se dilatent. Il arrive un moment où les vibrations de plus en plus rapides arrivent à vaincre la force d'adhésion des molécules, et certains corps passent de l'état solide à l'état liquide. Ce phénomène s'appelle la *fusion*.

Sous pression constante, la température à laquelle les corps fondent, qu'on appelle leur *point de fusion*, est invariable. On peut évaluer presque exactement les températures des corps, lorsqu'ils commencent à fondre, et on se sert, dans certains cas, de cette curieuse propriété pour établir des alliages dits de sécurité (bouchons fusibles pour certaines

chaudières, etc.), qui fondent lorsque les corps arrivent accidentellement à une température dangereuse.

Voici les températures de fusion des principaux corps :

Protoxyde d'azote . . . . .	— 100°	Alliage (plomb, 100 ;	
Alcool . . . . .	— 100°	étain 56) . . . . .	241°
Acide carbonique . . . . .	— 58°	Bismuth . . . . .	266°, 8
Mercure . . . . .	— 39°, 4	Alliage (plomb, 100 ;	
Huile de lin . . . . .	— 20°	étain, 19) . . . . .	290°
Brome . . . . .	— 20°	Azotate de soude . . . . .	310°, 5
Eau de mer . . . . .	— 2°, 5	Plomb . . . . .	326°, 2
Eau distillée . . . . .	0°	Azotate de potasse . . . . .	339°, 7
Chlorure de calcium . . . . .	29°	Zinc pur . . . . .	360°
Suif . . . . .	33°	Zinc du commerce . . . . .	415°, 3
Phosphore . . . . .	44°, 2	Antimoine . . . . .	432°
Paraffine . . . . .	54°	Aluminium . . . . .	625°
Acide margarique . . . . .	57°	Verre . . . . . 700	à 800°
Potassium . . . . .	58°	Bronze . . . . .	900°
Stéarine . . . . .	60°	Laiton . . . . .	900°
Cire jaune . . . . .	61°	Argent . . . . .	1.020°
Cire blanche . . . . .	69°	Alliage (zinc, 1 ; cui-	
Acide stéarique . . . . .	70°	vre, 4) . . . . .	1.050°
Sodium . . . . .	90°	Cuivre . . . . .	1.090°
Alliage de Darcet		Fonte blanche . . . . .	1.100°
(plomb, 1 ; étain, 1 ;		Alliages :	
bismuth, 4) . . . . .	94°	Zinc, 1 ; cuivre, 5 ..	1.100°
Alliage (plomb, 5 ;		— 1 — 6 ..	1.130°
étain, 3 ; bismuth, 8)	94°	— 1 — 8 ..	1.160°
Iode . . . . .	107°	Fonte grise . . . . .	1.225°
Soufre . . . . .	111°	Alliage (zinc, 1 ; cui-	
Alliages :		vre, 12) . . . . .	1.230°
Étain, 1 ; bismuth, 1 . . . . .	141°	Or pur . . . . .	1.250°
— 2 — 1 . . . . .	168°	Alliage (zinc, 1 ; cui-	
Plomb, 100 ; étain, 169	186°	vre, 20) . . . . .	1.300°
— 100 — 226	189°	Acier . . . . .	1.350°
— 100 — 283	195°	Nickel . . . . .	1.470°
— 100 — 113	196°	Fer doux . . . . .	1.500°
Alliage (étain, 3 ; bis-		Platine . . . . . 1.910	à 2.000°
muth, 3) . . . . .	200°	Iridium . . . . .	2.500°
Étain . . . . .	232°, 7		

**Chaleur latente de fusion.** — Lorsqu'un corps commence à fondre, sa température reste absolument invariable, et égale à celle indiquée ci-dessus, quelle que soit l'énergie de la source de chaleur, et cette invariabilité de température dure jusqu'à ce que la fusion soit complètement terminée.

Le travail intense de dissociation des molécules produit donc une disparition ou une transformation de chaleur sensible, c'est ce qu'on appelle la *chaleur latente de fusion*.

La chaleur latente de fusion d'un corps est la quantité de calories absorbée par 1 kilogramme de ce corps pour passer de l'état solide à l'état liquide.

Inversement, lorsqu'un corps fondu est abandonné à lui-même et se solidifie, sa température reste constante jusqu'à complète solidification, et il abandonne toute la quantité de chaleur latente qu'il avait absorbée pour passer de l'état solide à l'état liquide.

Le tableau ci-dessous indique les chaleurs latentes de fusion de quelques corps.

Mercure.....	2,83	Platine .....	27
Alliage de Darcey (plomb, 1 ; étain, 1 ; bismuth, 4) ....	4,50	Zinc .....	28,13
Phosphore .....	5,03	Cuivre .....	30
Plomb .....	5,57	Benzine .....	30
Soufre .....	9,37	Fonte blanche .....	34
Iode .....	11,7	Paraffine .....	35
Bismuth .....	12,64	Azotate de potasse.....	47,37
Cadmium .....	13,66	Laitier de haut fourneau ...	50
Étain .....	14,25	Azotate de soude .....	62,97
Argent.....	21,07	Chlorure de calcium.....	66,80
Fonte grise.....	25	Eau (glace) .....	79,25

**Dissolutions.** — Lorsqu'un corps solide se dissout dans un liquide, il peut se produire deux phénomènes différents :

1° Pour certains sels, il y a abaissement de température, parce que ceux-ci passent de l'état solide à l'état liquide, et absorbent au moment de ce changement d'état une quantité de calories égale à leur chaleur latente de fusion ;

2° Pour d'autres corps, il y a, au contraire, élévation de température, parce que la dissolution s'accomplit avec combinaison chimique entre le solide et le liquide, et que toute combinaison chimique se fait avec dégagement de chaleur.

On utilise la première propriété pour constituer des mélanges réfrigérants, destinés à abaisser la température des corps qu'on y plonge.

Voici les températures des principaux mélanges réfrigérants :

5 parties de sulfate de soude, mélangées avec 8 parties d'acide chlorhydrique produisent .....	— 17°
2 parties de neige ou de glace pilée, avec 1 partie de sel marin .....	— 19°
3 parties de sulfate de soude avec 2 parties d'acide azotique étendu d'eau .....	— 19°
2 parties de sulfate de soude, 5 parties d'azotate d'ammoniaque, 4 parties d'acide azotique étendu d'eau .....	— 26°

## QUELQUES NOTES TECHNIQUES

9 parties de phosphate de soude, 4 parties d'acide azotique étendu d'eau .....	— 29°
4 parties de chlorure de calcium en poudre, avec 3 parties de neige ou de glace pilée.....	— 51°

La seconde propriété a été utilisée, notamment par les Compagnies de chemins de fer, pour constituer des bouillottes ou des chaufferettes chimiques.

Par exemple, les bouillottes Ancelin, à l'acétate de soude, ont été longtemps employées par la Compagnie du Chemin de fer du Nord, et la Compagnie du Chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée.

L'acétate de soude passe de l'état solide à l'état liquide, et réciproquement, à 59° ; sa chaleur spécifique à l'état solide est de 0,32, et à l'état liquide de 0,75 ; sa chaleur latente de fusion est de 94.

Les bouillottes de chemins de fer, en tôle, pèsent 7<sup>kg</sup>,5 et contiennent 11 kilogrammes d'eau et 15 kilogrammes d'acétate de soude.

On commence par les plonger dans l'eau bouillante jusqu'à ce qu'elles aient la température de 90°, puis on les place dans les wagons, où elles restent chaudes pendant sept à huit heures.

La température s'abaisse peu à peu, puis, à 59°, l'acétate de soude se cristallise lentement, en abandonnant les calories correspondantes à sa chaleur latente de fusion. Lorsque la température de 40° est atteinte, la bouillotte ne chauffe plus, il faut la réchauffer à nouveau.

La quantité de calories dégagée par une telle bouillotte, de 90° à 40°, est la suivante :

11 kilogrammes d'eau, de 90 à 40°.....	11 <sup>kg</sup> × 50 =	550 calories
15 kilogrammes d'acétate de soude liquide de 90 à 59°.....	15 <sup>kg</sup> × 0,75 × 31° =	348 <sup>cal</sup> ,75
15 kilogrammes d'acétate de soude par solidification à 52°..	15 × 94 =	1.410 calories
15 kilogrammes d'acétate de soude par refroidissement du solide de 59 à 40°.....	15 × 19 × 0,32 =	91 <sup>cal</sup> ,20
7 <sup>kg</sup> ,5 métal, de 90 à 40°.....	7,5 × 0,1138 × 50 =	42 <sup>cal</sup> ,675
Ensemble pour la bouillotte.....		<u>2.442<sup>cal</sup>,625</u>

Ce qui, pour un refroidissement en sept à huit heures, représente une moyenne de 300 à 340 calories par heure transmises par la bouillotte.

Le temps employé par l'acétate de soude, pour se cristalliser à 59°, est très long, de sorte que la bouillotte se maintient plusieurs heures à cette température ; la cristallisation s'arrête quelquefois sans raison apparente, mais il suffit de secouer la bouillotte pour la faire reprendre.

On construit des appareils du même genre, nommés calories-blocs, pour

l'usage de chaufferettes, de chauffe-pieds de lits pour malades, etc. Ce sont des bouteilles, cylindriques ou plates, contenant une dissolution analogue, et qu'on chauffe en les trempant dans l'eau bouillante.

**Ébullition.** — Quand on continue à chauffer les corps déjà fondus, le phénomène de dissociation de leurs molécules se continue, ils deviennent de plus en plus liquides, puis, à la limite, passent à un état analogue à celui des gaz; on dit qu'ils se vaporisent.

La vaporisation commence, pour chacun d'eux, à une température fixe, sous une même pression, et cette température se maintient jusqu'à ce que tout le corps soit vaporisé; on l'appelle *température d'ébullition*.

Le tableau ci-dessous donne les températures d'ébullition de quelques corps :

Acide sulfureux.....	— 10°
Ether chlorhydrique .....	+ 11°
Acide sulfurique anhydre .....	25°
Ether sulfurique .....	35° <sup>5</sup>
Sulfure de carbone.....	48°
Chloroforme .....	63° <sup>5</sup>
Esprit-de-bois .....	65° <sup>5</sup>
Alcool.....	79° <sup>7</sup>
Benzine .....	80°
Acide azotique monohydraté .....	86°
Eau distillée .....	100°
Sulfate de soude (dissolution saturée) .....	100° <sup>7</sup>
Eau de mer .....	103°
Chlorure de sodium (dissolution saturée) .....	106° <sup>9</sup>
Chlorhydrate d'ammoniaque (dissolution saturée) ..	114° <sup>5</sup>
Azotate de potasse (dissolution saturée) .....	115° <sup>6</sup>
Acide acétique .....	120°
Azotate d'ammoniaque (dissolution saturée) .....	125° <sup>3</sup>
Carbonate de potasse (dissolution saturée).....	135°
Essence de térébenthine .....	157°
Iode.....	175°
Chlorure de calcium (dissolution saturée) .....	179°
Créosote .....	203°
Naphtaline .....	218°
Glycérine .....	290°
Phosphore .....	290°
Paraffine .....	300°
Huile de lin.....	316°
Acide sulfurique concentré .....	325°
Mercure.....	357°
Soufre .....	447°
Cadmium .....	860°
Zinc .....	1.040°

QUELQUES NOTES TECHNIQUES

**Vaporisation.** — Quand un corps se vaporise, il absorbe également une certaine quantité de chaleur insensible au thermomètre, et qu'on appelle *chaleur latente de vaporisation*.

Inversement, quand un corps revient de l'état de vapeur à l'état liquide, il restitue une égale quantité de chaleur latente.

Le tableau ci-après donne les chaleurs latentes de vaporisation de quelques corps sous la pression atmosphérique de 760 millimètres de mercure :

Iode.....	24	calories
Essence de térébenthine .....	77	—
Ether sulfurique .....	97	—
Alcool.....	207	—
Eau distillée .....	537	—

Si à la chaleur de vaporisation de l'eau à 100°, c'est-à-dire sous la pression atmosphérique, on ajoute la quantité de calories à fournir pour l'amener de 0 à 100°, on obtient un nombre qu'on appelle *chaleur totale de vaporisation à 100°*.

Pour 1 kilogramme d'eau, cette quantité est donc de :

$$100 + 537 = 637 \text{ calories.}$$

Après une série d'expériences, Regnault a trouvé que cette chaleur totale de vaporisation varie avec la pression, ou avec la chaleur correspondante à la pression, et il a établi pour l'eau la formule :

$$Q = 606,5 + 0,305T.$$

Par exemple, pour 100° :

$$Q = 606,5 + (0,305 \times 100) = 637,$$

trouvé ci-dessus.

Si on veut trouver la quantité de chaleur nécessaire pour vaporiser 1 kilogramme d'eau pris à une température  $t$ , par exemple, on écrit :

$$Q = 606,5 + 0,305T - t,$$

et si  $t$ , température d'origine de l'eau, est égale à 15°, on trouve :

$$Q = 605 + (0,305 \times 100) - 15 = 622.$$

**Force élastique des vapeurs.** — Les vapeurs sont, presque en tous points, assimilables aux gaz. Comme eux, elles ont une force élastique, c'est-à-dire qu'elles exercent des pressions sur les parois des vases dans lesquels elles sont contenues, pressions variables suivant les liquides vaporisés.

Au moment où un liquide se vaporise, la force élastique, ou tension de

la vapeur qui se dégage, est égale à la pression que supporte le liquide, ainsi qu'il résulte des expériences de Regnault.

Cette tension augmente de plus en plus, à mesure que la température s'élève, et ceci est encore une conséquence de la théorie mécanique de la chaleur. En effet, si on continue à chauffer une vapeur, les vibrations des molécules deviennent de plus en plus rapides. Ces molécules tendent à s'écarter l'une de l'autre, et, pour arriver à ce résultat, exercent une pression sur les parois du récipient dans lequel est contenue la vapeur.

Le tableau ci-après indique, d'après Regnault, les tensions de la vapeur d'eau.

TEMPÉRATURE	FORCE ÉLASTIQUE OU TENSION ABSOLUE			PRESSION DIRECTE EN KG. PAR CM <sup>2</sup> au-dessus de l'atmosphère	TEMPÉRATURE	FORCE ÉLASTIQUE OU TENSION ABSOLUE			PRESSION DIRECTE EN KG. PAR CM <sup>2</sup> au-dessus de l'atmosphère
	en millim. de mercure	en kg par cm <sup>2</sup>	en atmosph.			en millim. de mercure	en kg par cm <sup>2</sup>	en atmosph.	
Degrés					Degrés				
- 10	2,09	0,003	0,0025		113,7	1,216	1,653	1,6	0,620
- 5	3,11	0,004	0,004		115,5	1,292	1,756	1,7	0,623
0	4,60	0,006	0,0062		117,3	1,368	1,859	1,8	0,826
5	6,53	0,009	0,008		119	1,444	1,963	1,9	0,930
10	9,16	0,012	0,012		120,6	1,520	2,066	2,0	1,033
15	12,69	0,017	0,016		123,6	1,672	2,273	2,2	1,240
20	17,39	0,024	0,023		127,8	1,900	2,583	2,5	1,550
25	23,55	0,032	0,031		130,4	2,052	2,789	2,7	1,756
30	31,54	0,043	0,041		133,9	2,280	3,099	3	2,066
35	41,82	0,057	0,055		136,1	2,432	3,306	3,2	2,273
40	54,90	0,075	0,072		139,2	2,660	3,616	3,5	2,583
45	71,39	0,097	0,094		141,2	2,812	3,822	3,7	2,789
50	91,98	0,125	0,121		144	3,040	4,132	4	3,099
55	117,47	0,160	0,154		145,8	3,192	4,339	4,2	3,306
60	148,79	0,214	0,195		148,3	3,420	4,649	4,5	3,616
65	186,94	0,284	0,246		150	3,572	4,855	4,7	3,822
70	233,09	0,317	0,307		152,2	3,800	5,167	5	4,134
75	288,51	0,392	0,379		153,7	3,951	5,373	5,2	4,340
80	354,64	0,482	0,467		155,8	4,180	5,683	5,5	4,650
85	433,04	0,623	0,570		157,2	4,350	5,890	5,7	4,857
90	525,39	0,715	0,691		159,3	4,570	6,200	6	5,167
95	633,69	0,861	0,834		160,5	4,711	6,407	6,2	5,374
100	760	1,033	1	0	162,4	4,940	6,717	6,5	5,684
102,7	836	1,136	1,1	0,103	163,6	5,100	6,923	6,7	5,890
105,2	912	1,239	1,2	0,206	165,3	5,320	7,233	7,0	6,200
107,5	988	1,343	1,3	0,310	168,1	5,700	7,750	7,5	6,517
109,7	1,064	1,446	1,4	0,413	170,8	6,080	8,267	8	7,234
111,7	1,140	1,549	1,5	0,516	173,4	6,460	8,783	8,5	7,750

En pratique, on appelle *tension absolue* d'une vapeur la hauteur de colonne de mercure ou d'eau à laquelle elle fait équilibre ; mais les instruments de mesure donnent toujours la *pression effective* au-dessus de l'atmosphère, c'est-à-dire qu'aux indications des manomètres il faut ajouter 1 atmosphère, ou 760 millimètres de mercure, ou 10<sup>m</sup>,333 d'eau ou 1<sup>kg</sup>,033 pour avoir l'indication de la tension absolue.

Regnault a également déterminé les forces élastiques d'un certain nombre d'autres vapeurs, par exemple :

VAPEURS DE	TEMPÉRATURE	TENSION EN MILLIMÈTRES de mercure
Mercure .....	0°	0,02
	50°	0,41
	100°	0,74
Alcool .....	0°	13
	50°	220
	100°	1.685
Sulfure de carbone .....	— 20°	43
	0°	132
	60°	1.164
	100°	3.329
Éther sulfurique .....	— 20°	0
	0°	182
	60°	1.728
	100°	4.920
Acide sulfureux .....	— 20°	479
	0°	1.165
	60°	8.124
Ammoniaque .....	— 30°	411
	— 20°	4.273
	0°	7.709

**Influence des pressions sur les températures d'ébullition.** — Lorsque la pression augmente, l'expansion moléculaire due aux vibrations est gênée, la température à laquelle se produit l'ébullition augmente également, et inversement.

Ainsi l'eau bout dans le vide à 30°.

Denis Papin étudia, le premier, la vaporisation de l'eau en vase clos. Il employa une marmite en bronze, fermée par un couvercle autoclave maintenu par une vis de pression, et munie d'une soupape de sûreté.

Il remarqua que, la vapeur ne pouvant trouver d'issue, sa tension augmente, et que l'eau peut être portée à une très haute température sans bouillir. Si on atteint la limite à laquelle la soupape de sûreté peut s'ouvrir, la vapeur s'échappe dans l'atmosphère avec un sifflement, le liquide se met à bouillir, et l'ébullition se continue, même si on cesse de chauffer, jusqu'à ce que la pression soit redevenue égale à la pression atmosphérique : la température du liquide est à ce moment redescendue à 100°.

La marmite de Papin fut le point de départ des chaudières à vapeur.

TABLEAU INDIQUANT LES TEMPÉRATURES DE L'EAU CORRESPONDANTES  
A DIVERSES PRESSIONS

PRESSION EFFECTIVE en kilogrammes	TEMPÉRATURE CORRESPONDANTE	PRESSION EFFECTIVE en kilogrammes	TEMPÉRATURE CORRESPONDANTE	PRESSION EFFECTIVE en kilogrammes	TEMPÉRATURE CORRESPONDANTE
0 <sup>kg</sup> ,5	111°	7 <sup>kg</sup> ,5	173°	14 <sup>kg</sup> ,5	199°
1	120	8	175	15	200
1 5	127	8 5	177	15 5	202
2	133	9	179	16	203
2 5	138	9 5	181	16 5	205
3	143	10	183	17	206
3 5	147	10 5	185	17 5	208
4	151	11	187	18	209
4 5	155	11 5	189	18 5	210
5	158	12	191	19	211
5 5	161	12 5	193	19 5	213
6	164	13	194	20	214
6 5	167	13 5	196	»	»
7	170.	14	197	»	»

Ces chiffres, qui ne sont pas absolument rigoureux, sont ceux admis par le décret du 1<sup>er</sup> mai 1880 relatif aux appareils à vapeur et à leur contrôle par le Service des Mines du Gouvernement français.

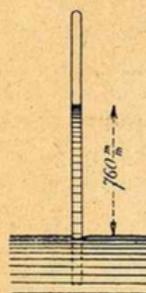


FIG. 19.

#### Mesure des tensions ou pressions des vapeurs. —

On évalue les pressions des vapeurs, des gaz ou des mélanges de gaz et de vapeurs, en millimètres d'eau, en millimètres de mercure, en atmosphères ou en kilogrammes par centimètre carré.

Pour bien comprendre ces expressions, il faut se rappeler la théorie du baromètre.

Si on remplit de mercure un tube en verre, fermé à une extrémité, et qu'on le retourne dans une éprouvette remplie du même métal, on voit que le tube se vide partiellement et qu'il reste dans ce tube une hauteur de mercure d'environ 760 millimètres, qui est équilibrée par la pression atmosphérique (fig. 19).

On peut en déduire que :

$$1 \text{ atmosphère} = 760 \text{ millimètres de mercure.}$$

Si on remplaçait le mercure, dont la densité est de 13,596, par de l'eau, dont la densité est de 1, la hauteur de la colonne serait de :

$$760 \times 13,596 = 10^m,333 ;$$

$$1 \text{ atmosphère} = 10.333 \text{ millimètres d'eau.}$$

Enfin, si on considère un tube barométrique de 1 centimètre carré de section, le poids de la colonne de mercure dont la hauteur est de 760 millimètres serait de 1.033 grammes ou  $1^{\text{kg}},033$  ; donc :

$$1 \text{ atmosphère} = 1^{\text{kg}},033 \text{ par centimètre carré.}$$

L'expression 1 kilogramme par centimètre carré est donc un peu moins grande que l'expression 1 atmosphère, avec laquelle on la confond souvent.

**Manomètre.** — Si on prend un tube en verre recourbé, ouvert à sa partie supérieure A, et en communication par sa partie B avec l'enceinte dont on veut mesurer la pression, si on le place sur une planchette graduée en centimètres, de part et d'autre d'un point initial 0 placé au milieu de la hauteur de l'échelle, et si on remplit d'un liquide jusqu'en 0 les deux branches, on constitue un *manomètre à air libre*, sur lequel on lit des pressions au-dessus de l'atmosphère, puisque la pression atmosphérique s'exerce sur la colonne A (fig. 20). Quand la pression de l'enceinte s'exerce sur la colonne B, le liquide s'abaisse dans la colonne B, s'élève dans la colonne A, et la différence entre les deux niveaux m et n indique la pression, en centimètres d'eau ou de mercure, suivant le liquide contenu dans le tube.

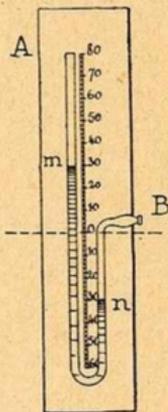


FIG. 20.

Ce manomètre indique des pressions très exactes, mais il ne peut servir que pour de faibles pressions, sous peine d'être obligé d'employer des tubes de longueurs considérables.

Si la branche A est fermée au point A, on a un *manomètre à air comprimé*, le liquide refoulé de la branche B dans la branche A comprimant, pour s'élever, la quantité d'air contenue dans le tube au-dessus du niveau m. Ce manomètre peut mesurer des pressions plus élevées que le manomètre précédent ; on le gradue par comparaison avec un manomètre à air libre.

Pour les pressions élevées, par exemple pour celles des chaudières à vapeur, on emploie des *manomètres métalliques* ou *manomètres Bourdon*. Ce manomètre est basé sur la déformation des tubes minces écrouis, enroulés en spirales, lorsque s'exerce une pression à l'intérieur de ces tubes. Une extrémité du tube est raccordée à l'enceinte ou à l'appareil contenant le fluide dont il s'agit de mesurer la pression ; l'autre extrémité est raccordée, par un système de bielles, à une aiguille qui se meut sur un cadran gradué (fig. 21).

Ces manomètres sont gradués par comparaison avec un manomètre étalon ; ils indiquent ordinairement des pressions en grammes ou en kilogrammes par centimètre carré.

Il existe de nombreux modèles de manomètres métalliques, basés sur les déformations de tubes ou membranes. Les manomètres, aux termes de la législation française, sont, du reste, réglementaires sur les appareils à vapeur.

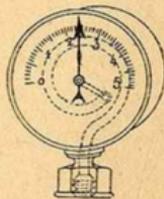


FIG. 21.

On construit également des manomètres enregistreurs, analogues aux thermomètres enregistreurs précédemment décrits, et basés sur le même principe que les manomètres métalliques. La déformation du tube se transmet à une aiguille, qui trace à l'encre un diagramme sur un papier réglé, enroulé sur un

cylindre auquel un mécanisme d'horlogerie transmet un mouvement de rotation régulier.

**Vapeurs saturées.** — Pour une température donnée, il existe une limite à la quantité de vapeur qui peut se former dans un espace déterminé ; on dit alors que la *vapeur est saturée*.

On se rend compte qu'une vapeur est saturée lorsqu'il reste un excès de liquide en contact avec la vapeur, et qui ne peut lui-même se vaporiser sans qu'on augmente la température.

La tension maximum d'une vapeur saturée est indépendante de la pression ; si on fait varier le volume de la vapeur saturée, la tension maximum ne change pas, pourvu que la température reste la même et qu'il y ait un excès liquide.

Cette propriété des vapeurs saturées est utilisée en chauffage pour certains appareils spéciaux, et notamment pour des régulateurs à vapeur saturée d'alcool, d'éther, d'hydrocarbures divers, etc., utilisant la tension de la vapeur saturée à une température déterminée.

**Liquéfaction des vapeurs.** — Quand les vapeurs reviennent à l'état liquide, soit par suite d'abaissement de température, soit par compression, c'est-à-dire augmentation de la pression à laquelle elles sont soumises, le liquide conserve la température correspondante à la pression, et il y a abandon, sous forme de chaleur sensible, de toute la chaleur latente qui avait été absorbée au moment de la vaporisation.

Ce phénomène est utilisé, comme nous le verrons plus loin, pour le chauffage par la vapeur.

Le même phénomène se remarque également au moment de la liquéfaction sous pression des gaz.

**Densités des vapeurs.** — On appelle densité d'une vapeur le rapport



entre le poids d'un volume de cette vapeur et le poids d'un égal volume d'air, à la même température et sous la même pression.

La formule

$$P = V \times 1,293 \times D \frac{F}{760} \times \frac{1}{1 + \alpha T}$$

donne le poids P d'un volume V de vapeur, dont la densité est D, la température T, et la force élastique F.

Le tableau ci-dessous, établi par Dumas, donne les densités de quelques vapeurs par rapport à l'air.

Air .....	1,000
Vapeur d'eau.....	0,6235
— d'alcool.....	1,6138
— de soufre.....	2,206
— d'éther sulfurique.....	2,586
— de sulfure de carbone.....	2,6447
— de phosphore.....	4,420
— d'essence de térébenthine.....	5,013
— de mercure.....	6,976
— d'iode.....	8,716

La formule ci-dessus permet, du reste, de calculer le rapport entre le volume d'un liquide et celui de sa vapeur.

**Mélange d'un gaz et d'une vapeur.** — Les vapeurs et les gaz se mélangent, et leur force élastique, d'après la loi de Dalton, est égale à la somme des forces élastiques de chacun d'eux, en supposant que le volume n'a pas varié.

Le poids du mélange est égal à la somme des poids du gaz et de la vapeur à la pression donnée.

Pour une température et une pression déterminées, il existe une quantité maximum de vapeur pouvant se mélanger avec un gaz ; on dit alors que le gaz est saturé.

Le tableau ci-après, fort utilisé dans les questions de séchage, indique les proportions de vapeur d'eau qui peuvent se trouver dans l'air atmosphérique saturé, aux diverses températures de 0 à 100°, et sous la pression de 760 millimètres.

TEMPÉRATURE	POIDS D'EAU EN GRAMMES dans un mètre cube d'air	TEMPÉRATURE	POIDS D'EAU EN GRAMMES dans un mètre cube d'air	TEMPÉRATURE	POIDS D'EAU EN GRAMMES dans un mètre cube d'air
0	4,9	34	37,2	68	180,9
1	5,2	35	39,3	69	188,5
2	5,6	36	41,3	70	196,3
3	6	37	43,5	71	204,4
4	6,4	38	45,8	72	212,7
5	6,8	39	48,2	73	221,3
6	7,3	40	50,7	74	230,2
7	7,7	41	53,3	75	239,5
8	8,3	42	56	76	249
9	8,8	43	58,8	77	258,8
10	9,4	44	61,8	78	268,9
11	10	45	64,8	79	279,4
12	10,6	46	68,1	80	290,1
13	11,3	47	71,4	81	301,3
14	12	48	74,9	82	312,8
15	12,7	49	78,5	83	324,6
16	13,5	50	82,3	84	336,8
17	14,4	51	86,2	85	349,3
18	15,2	52	90,2	86	362,3
19	16,2	53	94,5	87	375,6
20	17,1	54	98,9	88	389,4
21	18,2	55	103,4	89	403,5
22	19,3	56	108,2	90	418
23	20,4	57	113,1	91	433
24	21,6	58	118,3	92	448,4
25	22,8	59	123,5	93	464,3
26	24,1	60	129,1	94	480,6
27	25,5	61	134,8	95	497,4
28	27	62	140,7	96	514,6
29	28,5	63	146,8	97	532,3
30	30,1	64	153,2	98	550,5
31	31,7	65	159,7	99	569,3
32	33,5	66	166,6	100	588,4
33	35,3	67	173,6		

**Hygrométrie.** — L'hygrométrie a pour but de déterminer la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air atmosphérique. L'expérience prouve que l'air n'est jamais complètement privé d'humidité ; il n'est jamais non plus saturé, même pendant les brouillards les plus épais.

On appelle *état hygrométrique de l'air* le rapport de la quantité de vapeur d'eau qu'il renferme à la quantité qu'il contiendrait s'il était complètement saturé, sous la même pression et à la même température.

Le degré d'humidité de l'atmosphère dépend à la fois de la quantité absolue de vapeur d'eau qu'il contient et de la tension de cette vapeur. Ainsi l'air contient généralement plus d'humidité en été qu'en hiver, mais la tension de cette vapeur est plus grande parce que la température est plus élevée.

La mesure de l'état hygrométrique de l'air s'établit au moyen d'appareils appelés *hygromètres*.

L'hygromètre le plus connu est celui de Saussure (*fig. 22*) qui est basé sur l'allongement d'un cheveu sous l'influence de l'humidité. Cet allongement se transmet à une aiguille, qui se meut sur un cadran gradué en cent parties égales. Un tableau, établi par Gay-Lussac, et annexé à l'appareil, indique les quantités d'humidité qui correspondent à chacun des degrés de l'hygromètre.

MM. Richard frères construisent un hygromètre enregistreur, de construction analogue à celle du thermomètre enregistreur précédemment décrit. Ils utilisent un petit arc en corne, qui se déforme sous l'influence de l'humidité, et ses déformations sont transmises, par l'intermédiaire d'un système de bielles et levier, à une aiguille qui trace une ligne continue sur une feuille de papier gradué, elle-même enroulée sur un cylindre auquel un système d'horlogerie transmet un mouvement de rotation continu.

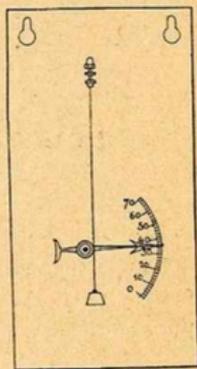


FIG. 22.



## CHAPITRE IV

### MODES DE TRANSMISSION DE LA CHALEUR

La chaleur se transmet d'un corps à un autre de quatre manières différentes : par *conductibilité* ou *conduction*, par *mélange*, par *convection* et par *radiation*.

1° **Conductibilité.** — La chaleur se transmet de proche en proche dans les corps, par une transmission des vibrations moléculaires, jusqu'à ce qu'il y ait équilibre entre leurs températures, et ceci sans changement dans les positions relatives des molécules.

La rapidité de transmission par conductibilité n'est pas la même pour tous les corps, aussi divise-t-on ceux-ci en *corps bons conducteurs* et en *corps mauvais conducteurs*.

Les physiciens Ingenhousz, Fourier, Despretz, Wiedemann et Frantz ont étudié la conductibilité des corps solides, et ont établi, d'une manière générale, que les métaux sont de beaucoup les corps les meilleurs conducteurs.

La formule ci-après indique la quantité de calories transmises par conductibilité dans un corps :

$$M = K \times \frac{t - t'}{E}$$

M est la quantité de calories transmises en une heure ;

K, le coefficient, variable suivant les corps ;

t et t', les températures de deux faces opposées ;

E, l'épaisseur du corps en mètres.

Péclet indique les coefficients ci-après pour quelques corps :

Or .....	77	Zinc .....	28
Platine .....	75	Étain.....	22
Argent.....	74	Plomb .....	14
Cuivre .....	69	Marbre .....	3
Fer.....	28	Pierre calcaire .....	1,30



Verre .....	0,80	Bois coupé parallèlement	
Terre cuite .....	0,60	aux fibres .....	0,10
Plâtre gâché .....	0,33	Limaille de fer .....	0,16
Sable siliceux .....	0,27	Liège .....	0,14
Coke pulvérisé .....	0,26	Cendres de bois .....	0,06
Bois coupé perpendiculairement aux fibres .....	0,17	Charbon de bois .....	0,06

On remarque que ces coefficients sont proportionnellement les mêmes que pour la conductibilité électrique.

On se rend compte facilement que les corps mauvais conducteurs, liège, bois, paille, cendres, charbon de bois, peuvent être employés comme calorifuges, pour empêcher les corps de se refroidir ou de s'échauffer.

Les liquides sont, en général, mauvais conducteurs de la chaleur, sauf le mercure, qui est un métal.

Lorsqu'on chauffe un liquide, la chaleur ne se transmet que faiblement par conductibilité, et, s'il ne se produisait pas des courants intérieurs, dus aux différences de densités, comme nous le verrons plus loin, les liquides seraient très difficiles à échauffer. Si on les chauffe par la partie supérieure, il ne se produit pas de courants intérieurs, puisque les couches élevées, plus légères parce qu'elles sont plus chaudes, restent en haut, et les liquides ne s'échauffent que très lentement.

Les gaz sont, en général, très mauvais conducteurs de la chaleur ; mais cette propriété est très difficile à vérifier, en raison de la grande mobilité de leurs molécules.

On sait toutefois qu'un matelas d'air, emprisonné entre deux parois qui l'empêchent de se mouvoir, est un des meilleurs isolants de la chaleur.

La sensation de chaleur ou de froid que nous ressentons en touchant les corps est due principalement à leur plus ou moins grande conductibilité.

**2<sup>o</sup> Mélange.** — Lorsque deux liquides, ou deux gaz, ou un liquide et un gaz, ou des vapeurs, ou encore des solides réduits en poussières, étant chacun à une température différente, sont mélangés ensemble, l'équilibre de température s'établit rapidement par les vibrations des molécules, le mélange prend une température moyenne, mais les positions relatives des molécules sont changées.

Nous savons tous qu'en mélangeant de l'eau chaude avec de l'eau froide nous obtenons de l'eau tiède. En chauffage, quand on a de l'air trop chaud, on abaisse sa température en le mélangeant avec de l'air froid.

**3<sup>o</sup> Convection.** — Les physiiciens anglais ont donné le nom de convection au mode de transmission de la chaleur par déplacement ou transport des molécules. Dans les liquides et dans les gaz il s'établit des courants allant des zones chaudes vers les zones froides, par suite de la

différence de densité des parties en contact avec la source de chaleur, et qui, tendant à s'élever, sont remplacées par des parties plus froides et plus lourdes.

C'est ce phénomène qui donne lieu à des courants d'air ascendants autour des poêles et des radiateurs ; c'est lui aussi qui produit les courants descendants devant les fenêtres et devant les parties vitrées de nos habitations.

4° **Radiation ou rayonnement.** — Les corps chauds ont tous, en proportion plus ou moins grande, la faculté d'émettre des rayons calorifiques qui propagent la chaleur à distance.

D'après la théorie de Bernoulli, ou thermodynamique, les vibrations des molécules qui composent les corps se transmettent sous forme d'ondes à l'éther, et ces ondes, se propageant au loin, transportent ainsi la chaleur.

On distingue la radiation lumineuse, produite par les corps lumineux, le soleil, les flammes, les métaux chauffés au rouge, et la radiation obscure, produite par les corps obscurs, comme les poêles, les radiateurs à vapeur ou à eau chaude.

La radiation se fait toujours en ligne droite, sous forme de rayons divergents autour d'un centre chaud, ou sous forme de faisceaux. Les rayons calorifiques se réfléchissent, comme les rayons lumineux, à la surface des corps brillants ; ils sont, au contraire, absorbés par les corps ternes.

Tous les corps n'ont pas les mêmes pouvoirs émissifs ou absorbants, et ces deux pouvoirs sont eux-mêmes en proportion inverse suivant les différents corps. Ceux qui ont un grand pouvoir émissif ont un faible pouvoir absorbant, et réciproquement.

Les surfaces noires et dépolies ont un grand pouvoir absorbant ; les surfaces brillantes ont, au contraire, un important pouvoir émissif. Quand on veut garder un liquide chaud pendant une longue durée, il faut éviter de le placer dans un vase poli ; au contraire, quand on veut l'échauffer vite, il faut le mettre dans un récipient à parois ternes.

La convection et la radiation se produisent simultanément, bien qu'il s'agisse de deux modes de transmission différents.

Newton a établi la loi suivante :

*La quantité de chaleur transmise par un corps chaud à l'enceinte dans laquelle il est placé est proportionnelle à la différence de température entre la surface de ce corps et l'enceinte.*

Cette loi est représentée par la formule :

$$M = KS (t - \theta)z,$$



dans laquelle :

M est la quantité de chaleur transmise en un temps  $z$  ;

K, le coefficient, variable suivant les corps ;

S, la surface du corps chaud en mètres carrés ;

$t$ , la température du corps chaud ;

$\theta$ , la température de l'enceinte environnante ;

$z$ , le temps pendant lequel on fait l'observation.

Dans les études de chauffage on prend généralement l'unité de temps égale à une heure :

$$\frac{z = 1,}{M = KS (t - \theta)}$$

est la formule fondamentale des calculs de calories en chauffage.

Franklin, Tyndall, Dulong et Petit, Pécelet, etc., ont établi par expériences les valeurs des coefficients K pour les différents corps et pour des épaisseurs variables de ces corps.

Ce coefficient K, établi par Pécelet, comprend à la fois les coefficients de radiation et de convection, et a pour expression d'après M. Ser (*Traité de physique industrielle*) :

$$K = mr + nf.$$

$mr$  se rapporte à la radiation et comprend les deux termes :

$m$ , variable avec la température,

$$m = a^\circ \times 124,72 \frac{a^{(t-\theta)} - 1}{t - \theta};$$

Écart de tempres ..	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°
Valeurs de $m$ .....	0,90	0,95	1,05	1,10	1,20	1,30	1,40	1,52	1,65	1,80	1,90

$r$ , différent suivant les corps, et ayant pour valeurs, d'après Pécelet :

Argent poli .....	0,13	Charbon en poudre .....	3,42
Cuivre rouge.....	0,16	Poussière de bois.....	3,53
Étain.....	0,215	Plâtre.....	3,60
Papier doré.....	0,23	Pierre à bâtir .....	3,60
Laiton poli.....	0,24	Bois .....	3,60
Zinc .....	0,24	Sable fin .....	3,62
Papier argenté .....	0,42	Calicot.....	3,65
Tôle polie .....	0,45	Étoffes de laine .....	3,68
— plombée.....	0,65	Étoffes de soie .....	3,71
— ordinaire.....	2,77	Peinture à l'huile .....	3,71
Verre .....	2,91	Papier .....	3,77
Fonte neuve .....	3,17	Noir de fumée.....	4,01
Craie en poudre .....	3,32	Eau .....	5,31
Fonte oxydée .....	3,36	Huile .....	7,24
Tôle oxydée .....	3,36		

LE CHAUFFAGE DES HABITATIONS

$nf$  se rapporte à la convection et comprend les deux termes :  
 $f$ , variable avec la forme des corps :

DIAMÈTRES	CORPS SPHÉRIQUES	CYLINDRES HORIZON- TAUX	CYLINDRES VERTICAUX					
			HAUTEUR 0 <sup>m</sup> ,50	HAUTEUR 1 m.	HAUTEUR 2 m.	HAUTEUR 3 m.	HAUTEUR 4 m.	HAUTEUR 5 m.
	$f =$	$f =$	$f =$	$f =$	$f =$	$f =$	$f =$	$f =$
0,10	4,38	2,82	3,20	2,90	2,70	2,60	2,50	2,45
0,20	3,08	2,44	3,05	2,75	2,55	2,50	2,40	2,35
0,30	2,70	2,30	3,00	2,70	2,50	2,40	2,35	2,30
0,40	2,43	2,25	2,95	2,65	2,45	2,35	2,30	2,25
0,50	2,30	2,21	2,90	2,63	2,40	2,32	2,27	2,23
0,60	2,19	2,18	2,87	2,60	2,38	2,30	2,25	2,21
0,80	2,10	2,15	2,85	2,57	2,37	2,27	2,23	2,20
1,00	2,04	2,10	2,83	2,55	2,36	2,25	2,21	2,19

SURFACES PLANES

Hauteurs.	0,30	0,40	0,50	0,60	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00
$f = \dots\dots\dots$	2,95	2,80	2,65	2,60	2,40	2,30	2,20	2,16	2,13	2,11	2,08	2,06	2,05

$n$ , variable avec la température :

$$n = 0,552 \frac{(t - \theta)^{1,233}}{t - \theta}$$

Ecart de température.	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°
Valeurs de $n$ .....	1	1,05	1,15	1,25	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65

La transmission de la chaleur à travers les parois à deux faces parallèles est un des éléments les plus importants du calcul des refroidissements de nos habitations, puisque toutes leurs parois, murs, cloisons, vitres, etc., ont des surfaces parallèles.

La chaleur se transmet régulièrement au travers de ces parois, supposées homogènes, parce que les deux faces sont à égale distance l'une de l'autre et ont une surface égale. Toutefois le coefficient de transmission ne dépend pas seulement de l'épaisseur, mais il est essentiellement variable suivant la nature de la paroi, pierres calcaires, briques, plâtre, bois, verre, etc.

La transmission de la chaleur à travers les parois cylindriques est un peu différente, parce que la paroi intérieure et la paroi extérieure ont des surfaces de valeurs inégales.

Toutefois, dans les questions de chauffage, on n'a guère à considérer que les cas de transmission par les tuyaux de chauffage, poêles, radiateurs, etc., dont l'épaisseur est généralement très faible et le coefficient

de transmission très important ; cette question de différence entre les surfaces ne joue qu'un rôle très secondaire, et on la néglige le plus souvent.

On augmente dans certains appareils la surface de radiation par des nervures ou des ailettes, soit rapportées et en contact aussi parfait que possible avec la paroi cylindrique, soit, ce qui vaut mieux, fondues avec le cylindre lui-même.

Dans ce cas, la surface est considérablement augmentée, quelquefois décuplée, mais le coefficient de transmission diminue.

Ser (*Physique industrielle*) dit que, dans le cas des gaz permanents sur les deux faces (calorifères à air chaud), on augmente la transmission de  $1/3$  en quadruplant la surface par des nervures, et qu'on l'augmente de  $2/3$  en décuplant la surface.

S'il y a de la vapeur d'un côté de la paroi et de l'air de l'autre côté, la transmission est doublée dans le premier cas et quintuplée dans le second.

Lorsque deux fluides en mouvement sont séparés par une paroi, l'un s'échauffe au détriment de l'autre, et la transmission au travers de la paroi est augmentée dans des proportions différentes, suivant que les deux fluides sont en mouvement dans le même sens ou en sens contraire.

C'est le cas, par exemple, de la transmission de la chaleur entre les gaz de la combustion d'un calorifère à air chaud, en mouvement dans les serpentins de fumée, et l'air environnant, qui arrive par la prise d'air à la partie basse du calorifère, et s'échauffe graduellement au contact de ces serpentins, en s'élevant jusqu'aux conduits de chaleur, à la partie haute.

C'est aussi le cas des radiateurs qui transmettent la chaleur de l'eau chaude ou de la vapeur, en mouvement à l'intérieur, à l'air environnant, qui vient à leur contact à l'extérieur, en s'élevant à mesure qu'il s'échauffe.

Il y a toutefois une limite à l'échange de température entre les fluides en mouvement, la transmission étant très rapide quand l'écart de température est le plus grand, et devenant de plus en plus lente à mesure que les températures des deux fluides se rapprochent l'une de l'autre.

Si les deux fluides sont en mouvement dans le même sens, les températures peuvent devenir égales à la limite, et, dans ce cas, le maximum du rendement tend vers 50 0/0.

Si les deux fluides sont en mouvement en sens contraire l'un de l'autre, le rendement est beaucoup plus considérable, se rapproche de 100 0/0, et n'a pour limite que le rapport du refroidissement des deux fluides par les parois extérieures des réservoirs qui les contiennent.

Dans certains appareils de distillation ou de pasteurisation, un liquide, chauffé à 100° dans une marmite, circule dans un tuyau qui contient lui-même un autre tuyau, par lequel arrive à la marmite le liquide nouveau à chauffer. Si la longueur des tuyauteries est suffisante, le liquide du

premier tuyau sort complètement refroidi, tandis que le second arrive chaud à la chaudière, qui n'a plus qu'à le porter à l'ébullition.

Dans les distributions d'eau chaude de nos maisons modernes, quand

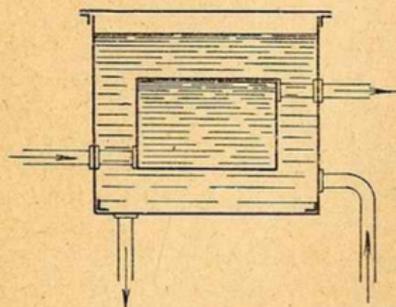


FIG. 23.

les eaux sont très calcaires et encrassent rapidement les chaudières, on établit une circulation d'eau chaude de la chaudière à un réservoir, et on place à l'intérieur de celui-ci un réservoir clos ou un serpentín, dans lequel circule l'eau qui sera distribuée dans la maison (fig. 23). La chaleur de l'eau du réservoir se transmet, par contact, dans ce réservoir, à l'eau du service de distribution, et l'eau refroidie

revient à la chaudière. Ainsi c'est toujours la même eau qui passe par la chaudière, et qui ne dépose son tartre qu'une fois, ce qui évite les fréquents nettoyages.

Lorsqu'un fluide est en mouvement et l'autre au repos, la transmission, sans être aussi importante que si les deux fluides étaient en mouvement, est néanmoins plus grande que lorsqu'ils sont tous deux au repos.

C'est le cas, par exemple, de la transmission par les murs de nos habitations, exposés au vent extérieur. C'est aussi le cas de la transmission par des tuyaux de vapeur, d'eau chaude, ou par des tuyaux de poêles, à l'air des salles d'habitation qu'ils traversent.

Il est d'usage, dans ce cas, d'augmenter le coefficient de transmission de 30 à 50 0/0.

**Pénétration de la chaleur dans l'intérieur des corps.** — Les corps ont presque tous la propriété de laisser la chaleur passer au travers de leur masse, avec une rapidité plus ou moins grande, et variable avec leur épaisseur : on dit qu'ils sont *diathermanes*.

Certains d'entre eux, cependant, sont presque imperméables à la chaleur : on dit qu'ils sont *athermanes*.

Cette faculté de se laisser traverser par la chaleur est différente pour les différents corps, et toujours plus grande pour la chaleur lumineuse que pour la chaleur obscure.

C'est en se basant sur cette propriété qu'on établit les calculs de chauffage.

Si une enceinte reçoit régulièrement et constamment, par un moyen quelconque, une quantité de chaleur égale à celle qui s'échappe en tra-



versant ses parois, sa température reste constante. Si, pendant la nuit, par exemple, la source de chaleur est arrêtée, l'enceinte se refroidit peu à peu, très vite d'abord, quand elle est très chaude par rapport à l'atmosphère extérieure, puis plus lentement ensuite, à mesure que sa température diminue.

Inversement, le lendemain matin, quand on recommence à chauffer, la température intérieure s'élève peu à peu, une certaine quantité de chaleur de plus en plus grande passe à travers les parois, et ce n'est qu'au bout d'un certain temps que le régime de température s'établit.

Il existe pour chaque bâtiment un certain coefficient, que M. Ser appelle *coefficient d'inertie calorifique*, qui ne peut se calculer, qu'on établit seulement par expérience, et qui permet de proportionner l'importance de la source de chaleur nécessaire pour établir et maintenir dans ce bâtiment un régime de température.

Certaine Commission technique, chargée d'établir les cahiers des charges relatifs au chauffage de palais et d'édifices, pose souvent ce problème :

« La température extérieure étant  $0^{\circ}$ , et les bâtiments considérés ayant été chauffés jusqu'à la veille du jour de l'expérience, puis refroidis normalement par la cessation du chauffage pendant la nuit, et par les ouvertures de fenêtres pour les nettoyages normaux du matin, en combien de temps, et avec quelle dépense de charbon le constructeur garantit-il d'amener la température intérieure à  $+15^{\circ}$  ? »

« Cette température étant obtenue, quelle quantité de charbon faudra-t-il brûler pour maintenir cette température pendant six heures ? »

« Combien l'installation brûlera-t-elle de charbon pendant le mois de janvier, pour maintenir dans les locaux les températures prescrites suivant l'horaire fixé au programme, la température extérieure moyenne du mois de janvier étant supposée  $A$  degrés, et un coefficient  $B$  de correction étant admis pour chaque dixième de degré de différence entre la température moyenne réelle  $A'$  observée en janvier et la température  $A$  prise comme base ? »

Pauvres constructeurs, chargés de résoudre un tel problème ! Sur quelle indication vont-ils baser leurs calculs ? Et quelle douce vengeance serait la leur, si, par un juste retour des choses d'ici-bas, le plus savant des membres de la Commission recevait, comme punition, le châtiment d'être obligé de faire et de garantir son calcul !

Ceux qui ont le courage d'affronter ce redoutable problème font un calcul normal de déperditions de calories, en supposant le chauffage continu, ajoutent ensuite au nombre de calories trouvé un pourcentage variable, que leur indique leur expérience, basée sur la comparaison avec un bâtiment similaire, mettent au hasard un chiffre répondant à la de-

mande, et... se fient à leur bonne étoile pour avoir une expérience favorable et un juge... clément.

Combien d'entre eux, et non des moindres, ont durement expié leur audace pour avoir indiqué des chiffres trop faibles, et payé des sommes importantes, qu'ils avaient eu tant de mal à gagner !

Le chiffre de calories à fournir dépend du bâtiment, de l'épaisseur de ses murs, de la surface de ses parois vitrées, du volume d'air renouvelé pour la ventilation ; ce chiffre est une *constante* qui devrait se retrouver dans les projets de tous les concurrents, avant toute espèce de choix d'appareil.

Ne serait-il pas plus rationnel de baser ensuite le choix du constructeur sur la perfection de l'organe générateur de chaleur proposé, qui est le seul appareil capable d'avoir un *rendement*, c'est-à-dire susceptible d'exiger une consommation de charbon plus ou moins grande pour transmettre au local à chauffer la même quantité de calories.

On a peine à croire qu'une Commission de techniciens, ayant à juger des projets identiques quant au nombre et à la surface de chauffe des appareils, au type et à l'importance du générateur, a donné la préférence à celui qui promettait de brûler le moins de charbon !

C'est comme si on remettait à des concurrents une série de récipients de capacité identique, 1 litre par exemple, et qu'on choisisse, un concurrent promettant de remplir le sien, jusqu'aux bords, avec 90 centilitres d'eau !

En réalité, ce problème est des plus compliqués, et la vie entière d'un illustre savant ne suffirait pas pour faire le calcul demandé par un tel programme.

Le calcul d'un chauffage continu est relativement facile, un constructeur expérimenté ayant non seulement ses formules, plus ou moins exactes, mais encore la pratique, qui lui permet de proportionner ses appareils au résultat de ses calculs.

Mais la détermination des appareils intermittents est impossible, et ne peut s'établir que par approximation.

Voici les coefficients les plus couramment appliqués dans les calculs préliminaires de chauffage des habitations.

**Transmission de l'air à travers les parois pleines.** — Ces coefficients correspondent aux pertes de chaleur par les murs, cloisons, vitres, planchers, plafonds, entre une pièce d'habitation chauffée et l'extérieur, ou une autre pièce non chauffée :

Ces coefficients représentant la formule :

$$K = mr + nf$$



ne sont que très approximatifs et très simplifiés, puisqu'ils ne tiennent pas compte, par exemple, des hauteurs, qui sont un facteur assez important de la convection (variable de 1 à 1,4 entre 0<sup>m</sup>,10 et 5 mètres) ; mais les calculs de chauffage doivent être aussi simplifiés que possible, et, à ce point de vue, on peut les considérer comme suffisamment corrects <sup>1</sup>.

1. L'Association des Ingénieurs de Chauffage et de Ventilation de France s'est préoccupée de la question, et a recherché s'il ne serait pas possible de faire des expériences pour arriver à des coefficients plus précis, qui pourraient être admis officiellement en France. Dans un rapport de sa commission, présenté par M. Nilus, le 20 mars 1912, ont été passées en revue les expériences de Pécelet, Dulong et Petit, Ser, etc., qui ont abouti à la fixation de coefficients assez vagues, et que la pratique a amené les Constructeurs à modifier d'une manière empirique. Sur la proposition de M. Nilus, a été émis le vœu que des expériences concluantes fussent faites pour déterminer les coefficients de transmission au travers des parois réelles de bâtiments dans les conditions normales des chauffages.

TABLEAU DES COEFFICIENTS  $K_e$  (pour 1 m<sup>2</sup> de surface et pour 1° d'écart de température.

(Ce tableau s'applique aux parois extérieures. Pour les parois intérieures  $K_i = 0,9 K_e$ )

EPAISSEURS des parois en mètres	MURS VERTICAUX EN MAÇONNERIE DE						
	Pierre calcaire ou meulière	bricks pleines sans enduit	bricks pleines avec enduit intérieur en plâtre, papier ou peinture	bricks creuses	béton armé béton comprimé	carreaux de plâtre enduit sur chaque face	Cloisons en bois et portes extérieures
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
0,01							2,75 à 3,50
0,02							2,25 à 3,00
0,03						3,60	1,82 à 2,70
0,04							1,55 à 2,35
0,05					3,45	3,20	1,30 à 2,15
0,06	3,60	2,90	2,70	3/4	3,35	3,00	1,15 à 1,95
0,09	3,35	2,70	2,60	des	2,95	2,90	Le sapin a
0,10	3,30	2,60	2,50	Coefficients	2,75	2,80	le plus
0,12	3,20	2,40	2,30	des	2,55	2,65	faible
0,15	3,10	2,20	2,10	colonnes	2,30	2,50	coefficient,
0,20	2,80	1,80	1,70	(2)	2,00	2,20	le chêne
0,22	2,75	1,70	1,60	et	1,90		a le plus
0,25	2,65		1,50	(3)	1,70		élevé
0,30	2,50	1,50	1,40		1,50		
0,33	2,40	1,45	1,35				
0,35	2,35	1,40	1,30				
0,38	2,25		1,25				
0,40	2,20	1,30	1,20				
0,45	2,10	1,15	1,05				
0,50	1,90	1,00	0,90				
0,55	1,80	0,90	0,85				
0,60	1,70	0,80	0,75				
0,65	1,60	0,75	0,70				
0,70	1,50	0,70	0,65				
0,75	1,45	0,65	0,60				
0,80	1,40	0,60	0,55				
0,85	1,38						
0,90	1,35	0,55	0,50				
0,95	1,30	0,50	0,45				
1,00	1,20	0,45	0,40				
1,15	1,15						
1,30	1,10						
1,40	1,00						
1,50	0,90						
2,00	0,70						



	Valeurs de K <sub>e</sub>		
2 murs en briques, de chacun 0,06 d'épaisseur, avec 1 enduit intérieur, séparés par un vide de 0,05.....	1,50		
2 murs en briques, 1 de 0,06 et 1 de 0,11 d'épaisseur, avec 1 enduit intérieur, séparés par un vide de 0,05.....	1,40		
2 murs en briques, de chacun 0,11 d'épaisseur, avec 1 enduit intérieur, séparés par un vide de 0,05.....	1,30		
1 revêtement intérieur en bois de sapin de 0,015 d'épaisseur sur un mur, diminue les coefficients des colonnes (1) (2) (3) (4) (5) (6) de.....	25 0/0		
Vitres nues, simples,..... posées verticalement	4,00		
— mouillées.....	6,00		
— avec rideaux en mousseline.....	3,00		
Fenêtre ordinaire, nue, moyenne bois et vitrage.....	3,80		
— avec rideau en mousseline, bois et vitrage.....	2,95		
Fenêtre à double vitrage, air intérieur sans mouvement.....	2,20		
Devanture de magasin.....	5,00		
Vitraux d'église.....	5,50		
Vitrages de serres, simples étanches.....	5,30		
— recouverts de paillassons .. horizontaux, inclinés, ou cintrés, nus.....	3,00		
Vitrages de serres, horizontaux, inclinés, ou cintrés, recouverts de paillassons.....	6,00		
Toitures en verre simple.....	3,80		
— double, ou tuiles en verre bien jointives.....	5,00		
— entuiles sur lattis, sans enduit.....	3,00		
— avec enduit en plâtre.....	4,50		
— avec briques de liège enduites en plâtre.....	3,60		
— en ardoises sur lattis en bois jointif.....	1,60		
— en zinc ordinaire sur lattis.....	2,40		
— doublé en sapin jointif.....	2,15		
— en cuivre de 1 mm. sur lattis ordinaire.....	1,50		
— en tôle ondulée (pour surface non développée).....	2,17		
— bien jointoyée (pour surface développée).....	10,40		
— en carton bitumé sur voligeage ordinaire.....	5,00		
— en terrasse, ciment nu de 0,08.....	2,13		
— ciment recouvert de papier goudronné et gravillon doublé intérieurement.....	3,60		
de liège enduit.....	2,50		
	1,30		
		de bas en haut	de haut en bas
Planchers sur sous-sol ou caves, voûtes en pierres, ou voûtains en briques, ou sur lambourdes avec plâtras, avec plancher en bois...	0,60		
Planchers avec carrelages en terre cuite ou céramique.....	0,80		
Planchers avec dallage en asphalte.....	0,75		
Planchers d'étages en bois, sur lambourdes et plâtras.....	0,60	0,80	
— avec mâchefer.....	0,55	0,65	
— avec débris de liège.....	0,40	0,50	
— sur béton armé, nu.....	1,00	1,60	
— sur lambourdes.....	0,60	1,10	
Plancher de grenier en plâtras, sur solives, sans parquet.....	1,00	1,20	
Pour tous les planchers, le carrelage en carreaux rouge ou céramique donne lieu à une augmentation de pertes de.....	10 0/0	10 0/0	
Sol nu en terre battue.....	1,90		
— en carreaux rouge ou céramique, chape en ciment.....	1,55		
— parqueté, sur lambourdes et asphalte.....	1,00		
— pavé en bois, chape en ciment et sable.....	0,60		

Il est d'usage de majorer de 2 à 3%, pour les parois exposées au nord, l'écart de température servant de base aux calculs ; on augmente les

chiffres de 20 à 50° pour les parois exposées aux vents violents régnant le plus souvent dans la localité.

Pour les chauffages discontinus, les ingénieurs allemands majorent suivant la formule :

$$\frac{0,065 (N - 1) W}{z},$$

N étant le nombre d'heures d'interruption du chauffage ;

W, les pertes calculées d'après les formules ci-dessus ;

Et z, le temps au bout duquel le régime de température devra être établi<sup>1</sup>.

**Pertes de chaleur par la ventilation.** — La quantité de calories nécessaires pour élever 1 mètre cube d'air de 0 à 1° est de 0,307. On devra en tenir compte dans les calculs, étant donné que 1 mètre cube d'air, évacué à la température de la salle chauffée, est remplacé par 1 mètre cube à la température extérieure.

Nous avons vu, dans le chapitre *Notions préliminaires* (p. 7), la quantité d'air neuf à introduire chaque heure dans les pièces, suivant leur destination.

Pour les appartements, lorsqu'aucune donnée précise n'est fournie, et que les pièces ne sont ventilées que par les cheminées et par les ouvertures normales de portes, il est d'usage de compter :

Pour les pièces de moins de 100 mètres cubes : le renouvellement horaire complet.

Pour les pièces de 100 à 200 mètres cubes .....	100 mètres cubes
— de 200 à 300 — .....	150 —
— jusqu'à 600 mètres cubes .....	1/2 à 1/3
Pour les grands locaux .....	1/4 à 1/10

La formule :

$$M = 0,307V (t - \theta),$$

dans laquelle V est le volume d'air en mètres cubes renouvelé par heure, indique la quantité de calories perdues par la ventilation, et  $\theta$  chiffre vient s'ajouter à celui calculé pour les pertes par transmission à travers les parois.

On dresse en général un tableau composé comme suit :

1. Cette majoration est empirique, et n'a rien de scientifique. Elle doit différer considérablement suivant l'importance du volume chauffé, la nature et l'épaisseur des parois extérieures, les surfaces plus ou moins grandes des parois vitrées.

DÉSIGNATION DU LOCAL	DIMENSIONS	VOLUME	ÉCART de temp <sup>re</sup> prevu	PERTES PAR LES PAROIS				PERTES par la ventilation	CALORIES totales à fournir par heure
				Sol	Plafond	Murs extérieurs	Murs et cloisons intérieurs		

Le chiffre de calories pour chaque pièce permet de déterminer la proportion de l'appareil de chauffage (poêle, bouche de calorifère, radiateur à vapeur ou à eau chaude) qui lui convient. Le total des colonnes verticales sert à établir l'importance de l'appareil générateur global qui alimentera ces surfaces partielles.

**TRANSMISSION DE LA CHALEUR A TRAVERS LES PAROIS  
DES APPAREILS DE CHAUFFAGE**

C'est par une méthode analogue qu'on détermine les proportions des appareils de chauffage qui fourniront à la pièce les calories nécessaires pour compenser les pertes par les parois et par la ventilation.

**Poêles.** — S'il s'agit d'un poêle placé dans la pièce même, et chauffant par le rayonnement de ses parois et de celles de son tuyau de fumée, on applique la loi de transmission à travers une paroi métallique, en tenant compte que, dans le poêle, les gaz chauds sont en mouvement, tandis que, dans la pièce, l'atmosphère reste sensiblement au repos.

Les expériences de Pécelet ont établi que les coefficients de transmission sont, dans ce cas,

Pour la tôle.....	4,32
Pour la terre cuite.....	4,64
Pour la fonte .....	10,55

D'autre part, on peut admettre que la température au foyer est d'environ 1.000°, et, si l'utilisation de la chaleur est bonne dans le poêle, les gaz de la combustion ne conserveront comme température que les 2 à 300° nécessaires pour assurer le tirage de la cheminée. La température moyenne des surfaces de chauffe du poêle sera donc :

$$\frac{1.000 + 2 \text{ à } 300}{2} = 600 \text{ à } 650^\circ.$$

M. Ser (*Traité de Physique industrielle*) a établi par le calcul, et vérifié par des expériences de laboratoire, les coefficients de rendement ci-après, pour un tuyau de poêle placé dans un local supposé chauffé à 15°.

SURFACE DE TRANSMISSION par kilogramme de charbon S	TEMPÉRATURES A L'EXTREMITÉ DE LA SURFACE		EXCÈS ou température T - t	CHALEUR TRANSMISE par mètre carré de surface M	RENDEMENT
	pour les gaz de la combustion T	pour l'air du local t			
0	1.000°	15°	985°	12 500	0
0,5	262 4	15	247 4	6 667,9	0,667
0,8	123	15	108	4 955	0,793
1,0	77 1	15	62 1	4 171,5	0,834
1,4	35 6	15	20 6	3 113,7	0,872
1,8	21 8	15	6 8	2 456,6	0,884
2,0	18 9	15	3 9	2 217,3	0,887
∞	15	15	0	0	0,893

On voit que les poêles, suivis d'une tuyauterie de fumée de surface convenable, sont des appareils de chauffage à rendement relativement très bon, et qu'en employant une surface totale de 0,8 environ, on a un rendement calorifique de 80 0/0, tout en conservant aux gaz de la combustion une température suffisante pour assurer le tirage de la cheminée.

**Poêles calorifères ou calorifères à air chaud.** — Le calcul de ces appareils nécessitera deux opérations successives :

1° La transmission de la chaleur des parois du poêle ou des surfaces du calorifère à l'air, arrivant froid par la prise d'air, s'échauffant à leur contact et sortant chaud par les bouches de chaleur ;

2° La transmission de chaleur de l'air chaud arrivant par ces bouches, abandonnant ses calories à la pièce chauffée, et évacué par la ventilation à la température de la pièce.

On doit commencer par calculer le volume d'air chaud qui doit arriver dans chaque pièce, à la température T, pour abandonner la quantité de calories M, nécessaires pour maintenir dans la pièce la température t. Ce résultat est facile à obtenir, d'après la formule :

$$M = Q \times 0,307 (T - t),$$

de laquelle on tire :

$$Q = \frac{M}{0,307 (T - t)}$$

On voit que le volume Q est d'autant moins grand que la température T est plus élevée, et on en déduit que, plus on pourra augmenter la



température  $T$ , et plus l'appareil de chauffage sera économique, puis-  
qu'il aura à échauffer un volume d'air  $Q$  moins important.

Il n'est pas rare de voir certains poêles-calorifères élever la température de l'air jusqu'à  $100^{\circ}$  ou même plus haut, mais c'est une mauvaise méthode.

A cette température, les matières organiques, toujours en suspension dans l'air, sont carbonisées et dégagent de mauvaises odeurs ; chaque mètre cube d'air introduit apporte trop peu d'humidité, et l'atmosphère de la pièce devient trop sèche. Il est bon, pour rester dans de bonnes conditions d'hygiène, de ne pas dépasser  $60$  à  $70^{\circ}$ .

Le volume  $Q$  d'air à introduire à la température  $T$ , par exemple  $60$  à  $70^{\circ}$ , étant établi, on détermine la quantité de calories  $M'$  que devra produire le calorifère, pour amener à la température  $T$  ce volume d'air  $Q$ , pris extérieurement à la température  $\theta$ .

Cette quantité

$$M' = Q (T - \theta)$$

est évidemment plus grande que  $M$ , puisque l'air, pris à l'extérieur à la température  $\theta$ , retournera ensuite à l'extérieur à la température  $t$  de la pièce,  $t$  étant plus grand que  $\theta$ .

On appelle *rendement du calorifère* le rapport  $\frac{M}{M'}$ , c'est-à-dire le rapport entre la quantité de calories  $M'$  fournie par un calorifère et la quantité  $M$  utilisée au chauffage de la pièce.

Ceci posé, quelle devra être l'importance du calorifère pour fournir la quantité de calories  $M'$ .

C'est la loi de transmission de la chaleur à travers les parois métalliques, planes ou cylindriques, entre deux fluides en mouvement, qui nous fournira la solution du problème.

Mais le coefficient n'est pas le même suivant que les deux gaz ou fluides sont en mouvement dans le même sens, ou circulent en sens inverse. Nous avons vu précédemment que, dans ce dernier cas, le coefficient est beaucoup plus important.

Les calorifères sont généralement composés de serpentins en fonte ou en tôle, avec ou sans nervures, horizontaux ou verticaux, dans lesquels la fumée circule soit dans un sens, soit dans l'autre, avant d'arriver à la cheminée.

D'autre part, l'air frais arrivant à la partie basse du calorifère, et s'élevant en s'échauffant jusqu'à la partie haute, est presque toujours contrarié dans sa circulation par des chicanes en tôle, de manière à rester le plus longtemps possible en contact avec les surfaces de chauffe du calorifère ; il circule donc ainsi tantôt dans un sens et tantôt dans l'autre.

Enfin, la vitesse de circulation de chacun des deux fluides est essentiellement variable.

Il est donc un peu téméraire d'appliquer des coefficients rigoureux à ce type d'appareils de chauffage, et les constructeurs se bornent le plus souvent à établir des surfaces sanctionnées par la pratique, et qui n'ont qu'un rapport très vague avec les coefficients théoriques.

M. Ser a fait des expériences très nombreuses sur des surfaces de chauffe diverses, et établi des tableaux qu'on peut trouver dans son *Traité de Physique industrielle*.

Tout en s'inclinant devant la haute autorité de M. Ser, on peut se permettre de dire que ses expériences de laboratoire n'ont qu'un rapport assez éloigné avec les installations de calorifères, dont aucune ne ressemble à l'autre, et qui ne peuvent certainement être traitées d'une manière aussi précise.

Nous donnons cependant ci-dessous, à titre de renseignement, un extrait des tableaux établis par M. Ser, et qui montrent que le rapport de 1 mètre carré de surface de chauffe par kilogramme de charbon brûlé est une bonne moyenne, au-dessus de laquelle les gaz seraient trop refroidis pour permettre un bon tirage de la cheminée, et le rendement très peu augmenté.

SURFACE DE CHAUFFE par kilogramme de charbon brûlé	TEMPÉRATURES A L'EXTRÉMITÉ DE LA SURFACE		EXCÈS DE TEMPÉRATURE à l'extrémité de la surface	CHALEUR TRANSMISE par mètre carré	RENDEMENT
	gaz de la combustion	Air chauffé au contact de la surface			
<b>I. — CAS DE LA CIRCULATION DES GAZ ET DE L'AIR DANS LE MÊME SENS</b>					
0	1.000	0	1.000	12.500	0
0,80	357,10	321,45	35,65	3.616,3	0,574
1,00	343,66	328,17	15,49	2.953,5	0,586
1,40	335,28	332,36	2,92	2.136,6	0,593
1,80	333,7	333,15	0,55	1.665,8	0,5949
2,00	333,49	333,25	0,24	1.499,6	0,595
∞	333,33	333,33	0	0	0,5952
<b>II. — CAS DE LA CIRCULATION EN SENS CONTRAIRE</b>					
0	1.000	0	1.000	12.500	0
0,80	198,41	400,79	198,41	4.508,8	0,716
1,00	143,63	428,18	143,63	3.853,6	0,764
1,40	77,90	461,05	77,90	2.963,9	0,823
1,80	43,39	478,30	43,39	2.391,5	0,854
2,00	32,57	483,72	32,57	2.167,7	0,863
∞	0	500	0	0	0,892

Il ne serait pas possible, du reste, d'admettre pour l'air chauffé dans les calorifères des températures de 3 à 400°, comme celles indiquées dans



les tableaux de M. Ser, et on ne dépasse jamais, en pratique, une température de 70 à 80° aux bouches de chaleur, ce qui donne peu d'intérêt aux chiffres de ces tableaux.

On admet généralement que le rapport entre la surface de chauffe et la quantité de charbon à brûler est de 1 pour les petits appareils à 1,5 pour les grands ; on donne une vitesse qui ne dépasse pas 0<sup>m</sup>,50 par seconde dans les conduits, ce qui amène à donner à ceux-ci une section de environ 0<sup>m</sup>2,03 par 100 mètres cubes chauffés, et on applique les coefficients approximatifs ci-après :

M' = calories à fournir ;

$$P = \frac{M'}{3.500 \text{ à } 4.000} = \text{quantité de houille à brûler par heure ;}$$

P<sub>1</sub> =  $\frac{M'}{2.000}$  = quantité de bois, si on a l'intention d'employer ce combustible ;

$$P_2 = \frac{M'}{3.000 \text{ à } 3.500} = \text{quantité de coke ;}$$

$$\omega = \frac{P}{40 \text{ à } 50} = \text{surface de grille ;}$$

S = P à 2P = surface de chauffe totale en mètres carrés, qui se répartit suivant la proportion de transmission ci-après :

Transmission de la cloche unie .....	3
— de la cloche à ailettes .....	4,5
— du serpentín en tôle ou en fonte unie .	1
— du serpentín en fonte à ailettes.....	1,5

Section de la cheminée :

$$\omega_1 = \frac{P}{70\sqrt{h}}$$

dans laquelle *h* est la hauteur.

Toutefois, lorsqu'on ne connaît pas *h*, on ne s'éloigne pas de la vérité en écrivant :

$$\omega_1 = \frac{\omega}{5}$$

Du reste, les règlements de Paris ne permettent pas de donner à  $\omega$  une dimension inférieure à 0,20 × 0,20 pour un tuyau encastré dans la maçonnerie, ou un diamètre inférieur à 0<sup>m</sup>,20 dans le cas d'un conduit en métal.

Les mêmes règlements ne permettent pas non plus de construire des conduits rectangulaires dans lesquels une des faces est plus grande que 1 fois et demie l'autre.

Comme les tuyaux de fumée et calorifères doivent être construits en briques, et que les dimensions usuelles des briques sont  $0,22 \times 0,33$ , il en résulte que les sections habituelles des cheminées rentrent toujours dans les gabarits ci-après :

Sections carrées	Sections rectangulaires
22 × 22	22 × 33
33 × 33	33 × 44
44 × 44	44 × 55
55 × 55	44 × 66
66 × 66	

desquelles il faut déduire l'épaisseur de l'enduit intérieur, soit 1 à 1 1/2 centimètre sur chaque face.

Les sections des prises d'air froid des calorifères sont de 2 à 3 décimètres carrés pour 100 mètres cubes débités, et celles des conduits de chaleur de 3 à 4 décimètres carrés.

Enfin, pour augmenter l'état hygrométrique de l'air chaud à la sortie des bouches de chaleur, on complète généralement un calorifère à air chaud par un bac rempli d'eau, nommé saturateur. M. Grouvelle (*Dictionnaire des Arts et Manufactures*) admettait que l'alimentation du saturateur devait être de 1 litre à 1 litre 1/2 par jour et par 100 mètres cubes chauffés.

**Aéro-calorifères.** — M. d'Anthonay a donné le nom d'aéro-calorifères à des calorifères de construction spéciale, à rivure serrée et joints à brides parfaitement étanches, dans lesquels le mouvement d'air était produit par insufflation, au moyen d'un ventilateur. Cette disposition permettait de distribuer l'air chaud à des distances souvent considérables et pouvant atteindre 150 mètres et plus.

Dans ces appareils, la vitesse de l'air venant au contact des surfaces de chauffe du calorifère étant très grande, le coefficient de transmission était de beaucoup augmenté.

M. d'Anthonay admettait qu'il fallait 10 mètres carrés de surface de chauffe pour 1 mètre cube d'air débité par seconde ; il suffisait, du reste, soit de faire varier la vitesse du ventilateur, soit la section de débit, pour augmenter ou diminuer la température de l'air chaud.

La température maximum prévue était de 70° à la sortie du calorifère. et, pour de grands édifices chauffés, la moyenne de débit était de trois fois par heure le volume du local.

## TRANSMISSION DE L'EAU A L'AIR

*Chauffage par l'eau chaude.* — Le coefficient de transmission de l'eau à l'air, à travers les parois des radiateurs ou surfaces à ailettes employés dans les chauffages par l'eau chaude, varie naturellement avec la température de l'eau et celle de l'air, et avec les vitesses respectives de l'eau dans les appareils et de l'air à leur contact.

M. Ser indique, et l'expérience confirme, que ce coefficient est de 9 calories par degré de différence entre l'eau et l'air, pour des appareils à surface lisse, pour des écarts de températures de 50 à 60°, qu'il augmente avec ces températures, pour devenir sensiblement voisin de 11 quand la température se rapproche de l'ébullition, et atteindre même 13 et 14 dans les chauffages à haute pression, microsiphons et chauffages Perkins, dans lesquels la température de l'eau monte jusqu'à 180°, et la vitesse de circulation est très grande.

L'expérience prouve aussi que le coefficient de transmission par les surfaces à ailettes varie entre les  $\frac{2}{3}$  du coefficient ci-dessus, lorsque les ailettes sont courtes et écartées, et la moitié, quand les ailettes sont longues et serrées.

**Radiation directe.** — Quand les radiateurs ou surfaces à ailettes sont placés dans les locaux à chauffer eux-mêmes, on dit que le chauffage se fait par radiation directe, et on peut employer les coefficients ci-après, dans une enceinte à 15°, à la condition que les appareils soient complètement purgés d'air <sup>1</sup>.

1. Ces coefficients sont légèrement supérieurs à ceux employés par les Ingénieurs allemands tels qu'ils sont reproduits dans les tables de Rietschel. Nous n'avons cependant jamais éprouvé de déboires lorsque nous les avons employés.

## LE CHAUFFAGE DES HABITATIONS

TEMPÉRATURE DE L'EAU CHAUDE		DIFFÉRENCE entre la température moyenne de l'eau chaude et celle des locaux chauffés	RADIATEURS LISSES		TUYAUX A AILETTES EN FONTE					
à l'entrée	à la sortie		à l'entrée	à la sortie	N° 1		N° 2		N° 3	
			Coef- ficients	Calories transmises par mètre carré	Coefficients	Calories transmises par mètre carré	Coefficients	Calories transmises par mètre carré	Coefficients	Calories transmises par mètre carré
50	30	25	6,50	463	4,35	409	3,80	95	3,25	81
50	40	30	7,00	210	4,65	440	4,00	120	3,50	105
60	30	30	7,00	210	4,70	441	4,40	123	3,60	108
60	40	35	7,50	262	5,00	475	4,35	123	3,75	131
70	40	40	8,00	320	5,50	220	4,75	190	4,00	160
70	50	60	8,50	382	5,60	252	4,90	220	4,25	194
80	50	50	9,00	450	6,00	300	5,25	262	4,50	225
80	60	55	9,00	495	6,00	330	5,25	288	4,50	247
90	60	60	9,00	540	6,10	366	5,35	321	4,60	276
90	70	80	9,50	617	6,35	412	5,50	357	4,75	309
100	70	85	9,50	665	6,35	444	5,50	385	4,75	332
100	80	90	10,00	750	6,60	495	5,80	435	5,00	375
120	100	85	10,50	892	7,00	595	6,10	518	5,25	446
140	140	95	11,50	4.092	7,65	727	6,70	636	5,75	546
140	140	125	12,00	4.320	8,00	880	7,00	770	6,00	660
180	140	145	13,00	4.885	8,65	1.254	7,60	1.402	6,50	942
200	160	165	14,00	2.310	9,35	1.543	8,15	1.345	7,00	1.455

**Chauffage indirect.** — On dispose quelquefois les radiateurs à ailettes enfermés dans des enveloppes en maçonnerie disposées au-dessous des locaux à chauffer ; on fait arriver l'air froid par une prise d'air à la partie inférieure ; cet air s'échauffe en montant au contact des radiateurs à ailettes et est recueilli à la partie supérieure par des conduits de chaleur qui le distribuent aux bouches de chaleur placées dans les pièces à chauffer.

On constitue ainsi, sous le nom de batteries, de véritables calorifères à air chaud, dans lesquels les surfaces de chauffe à feu direct sont remplacées par des surfaces à eau chaude.

L'eau et l'air circulent en sens inverse dans les batteries, l'air le plus froid arrivant au contact des surfaces les plus refroidies : le chauffage est donc méthodique. La vitesse de l'air est d'environ 0<sup>m</sup>,50 à 1 mètre par seconde : le coefficient de rendement est par conséquent très bon.

Mais la différence de température est beaucoup moindre ; l'eau sort de la batterie vers 40° à 50°, l'air arrive à la température extérieure, de — 10 à 0°, et sort à la partie supérieure, vers 40 à 45°, ce qui lui donne une température moyenne de 18 à 20°.

Le tableau ci-après indique les coefficients ordinairement admis dans la pratique pour les batteries à circulation d'air naturelle, sans pulsion mécanique <sup>1</sup>.

Si on se reporte aux indications précédemment données pour le chauffage par les calorifères à air chaud, on comprendra maintenant comment on peut calculer une batterie de chauffage indirect par l'eau chaude.

On détermine d'une manière analogue quel est le volume d'air *Q* à la température de 45° qu'il faudra introduire dans la pièce à chauffer pour abandonner la quantité *M* de calories nécessaire et maintenir la température *t*.

On calcule la quantité *M'* de calories qu'il faudra fournir à ce volume d'air *Q*, pris à l'extérieur à la température *θ*, pour élever cette température à 45°.

On tire ensuite du tableau ci-dessus la surface des radiateurs à ailettes capable de fournir cette quantité *M'* de calories.

Dans les chauffages ordinaires par l'eau chaude à basse pression (thermosiphons), l'eau part de la chaudière à 90-85° environ, et rentre vers 50 à 55° ; c'est donc le coefficient correspondant à 172 à 264 calories, qui sera appliqué suivant le N° de tuyaux à ailettes choisi et le nombre de rangs de la batterie.

$$\frac{M'}{172 \text{ à } 264} = \text{surface du radiateur à ailettes.}$$

1. Nous montrerons dans le chapitre xxv comment les coefficients varient avec la vitesse de l'air dans le chauffage par pulsion mécanique de l'air.



Les autres éléments, sections de la prise d'air, des conduits d'air se calculent d'une manière identique à ceux des calorifères à air chaud, en tenant compte, bien entendu, du volume d'air plus grand à faire passer, en raison de sa température moins élevée.

### TRANSMISSION DE L'EAU A L'EAU

Le coefficient de transmission de l'eau à l'eau est essentiellement variable suivant les vitesses de circulation des deux liquides.

Il n'existe pas, dans ce cas, de transmission par radiation, et c'est seulement la transmission par convection qui est applicable :

$$K = n f.$$

M. Ser dit que la transmission varie entre 250 et 3.000 calories par mètre carré, cette dernière seulement dans les cas les plus favorables. Dans les applications ordinaires, il ne faut guère prévoir plus de 250 à 1.000, et encore le chiffre peut-il s'abaisser jusqu'à 100 quand la vitesse est nulle.

Ainsi, lorsqu'on plonge des copettes dans un bain-marie de fourneau de cuisine, la transmission n'est guère que de 100 calories par mètre carré et par degré d'écart.

La transmission, dans le cas considéré précédemment à la figure 22, varie de 250 à 1.000 calories par mètre carré, suivant la vitesse de l'eau en circulation dans le réservoir fermé, c'est-à-dire suivant la quantité d'eau chaude puisée dans le service de distribution.

Pour un bain-marie, où la vitesse est presque nulle  $K = 100$ .

Pour un réchauffeur, placé dans un réservoir d'eau à chauffer, on peut compter :

Serpentin en fer.....	K = 200
— en cuivre.....	K = 250
Réchauffeur cylindrique en tôle...	K = 300
— — en cuivre.	K = 350

Enfin, dans certains cas, par exemple dans les procédés de pasteurisation des liquides, le liquide pasteurisé sort presque froid et transmet ainsi presque toutes ses calories au liquide qui arrive, le rendement peut aller jusqu'à 3.000 calories par mètre carré, parce que la circulation est continue et rapide.

## TRANSMISSION DE LA VAPEUR A L'AIR

**Chauffage par la vapeur.** — Le coefficient de transmission de la vapeur à l'air est sensiblement équivalent à celui de l'eau à l'air, à égalité de températures:

M. Ser indique que la valeur de ce coefficient est de  $11^{\text{cal}},44$  par degré d'écart entre la température de la vapeur et celle de l'air, pour des surfaces lisses en fer ou en fonte.

L'expérience prouve que ce chiffre est sensiblement exact pour les radiateurs avec de la vapeur à basse pression, bien qu'il varie légèrement avec la durée de contact entre l'air et la surface de radiation, c'est-à-dire avec la hauteur des radiateurs, et qu'on peut l'augmenter très sensiblement jusqu'à 15,00 pour la vapeur à plus haute pression.

Comme pour l'eau, le coefficient de transmission des surfaces à ailettes varie entre la moitié et les  $\frac{2}{3}$  de ce chiffre.

*Radialion directe.* — On peut employer les coefficients ci-après pour les locaux dont la température est de 17 à 18°.

VAPEUR		RADIATEURS LISSES		RADIATEURS A AILETTES	
PRESSIION en kilogrammes par centim. carré au-dessus de l'atmosphère	TEMPÉRATURE correspondante (approximative)	COEFFICIENT	TRANSMISSION en calories par mètre carré	COEFFICIENT	TRANSMISSION par mètre carré
0 <sup>ks</sup> ,100	102°	11,44	960	5,7 à 7,6	480 à 640
0 150	104	11,50	990	5,75 à 7,65	495 à 660
0 200	105	11,75	1.020	5,90 à 7,85	510 à 680
0 300	107	12	1.070	6 à 8	535 à 710
0 400	109	12,25	1.110	6,15 à 8,15	555 à 690
0 500	111	12,50	1.160	6,25 à 8,35	580 à 770
1	120	13	1.325	6,50 à 8,65	665 à 880
1 500	127	13,50	1.470	6,75 à 9	735 à 980
2	133	14	1.600	7 à 9,35	800 à 1.065
2 500	138	14,50	1.740	7,25 à 9,65	870 à 1.080
3	143	15	1.920	7,5 à 10	960 à 1.320

**OBSERVATION.** — Les chiffres du tableau s'entendent pour des appareils absolument remplis de vapeur. Dans les chauffages par la vapeur à basse pression, avec robinets à double réglage, d'une part l'air n'est pas complètement expulsé, et il reste de l'air avec la vapeur dans les radiateurs, et, d'autre part, une partie de la surface, du côté de la sortie, doit

rester froide pour qu'on soit bien assuré qu'il ne passe pas de vapeur dans les tuyaux de retour. Il est prudent, en conséquence, de ne compter que 80 0/0 des puissances de transmission indiquées ci-dessus, soit 750 à 800 calories par mètre carré pour les radiateurs lisses, 450 à 500 pour les surfaces à ailettes, 100 en moins pour les appareils dissimulés.

*Chauffage indirect.* — On constitue, d'une manière analogue à celle décrite précédemment pour le chauffage à eau chaude, des batteries de chauffage indirect par la vapeur.

Le coefficient de transmission est beaucoup plus élevé que dans le cas des batteries à eau chaude, parce que les radiateurs sont remplis de vapeur à température constante.

Aussi peut-on admettre une température plus élevée pour l'air chaud sortant des batteries, et l'expérience prouve, quand les radiateurs sont convenablement établis pour une circulation d'air rationnelle à leur contact, que cette température atteint 60° avec la vapeur à basse pression, et 65 à 70° pour la vapeur à haute pression.

Si on suppose l'air pris extérieurement, pendant les jours froids de l'hiver, à — 7° au-dessous de zéro, chiffre généralement imposé pour les installations de chauffage, la température moyenne de l'air dans la batterie est de :

$$\frac{60 + (-7)}{2} = 26^{\circ}5.$$

En appliquant le coefficient de transmission de 11,44 à 15 par mètre carré de radiateur lisse, et par degré d'écart entre la température de la vapeur et la température moyenne de l'air, on peut établir le tableau suivant :

VAPEUR		TEMPÉRATURE moyenne de l'air dans la batterie pour t = - 7	RADIATEURS LISSES		RADIATEURS A AILETTES	
PRESSIION en kilogrammes par cent. carré au-dessus de l'atmosphère	Température correspondante approximative		COEFFICIENT	TRANSMISSION en calories par mètre carré	COEFFICIENT	TRANSMISSION en calories par mètre carré
0 <sup>ks</sup> , 100	102°	26° 5	11,44	860	5,7 à 7,6	430 à 570
0 150	104	26 5	11,50	890	5,75 à 7,65	445 à 590
0 200	105	26 5	11,75	920	5,90 à 7,85	460 à 610
0 300	107	26 5	12	965	6 à 8	480 à 640
0 400	109	26 5	12,25	1 010	6,15 à 8,15	505 à 670
0 500	111	26 5	12,50	1 055	6,25 à 8,35	525 à 705
1	120	27	13	1 210	6,50 à 8,65	605 à 805
1 500	127	28	13,50	1 335	6,75 à 9	665 à 890
2	133	29	14	1 455	7 à 9,35	725 à 970
2 500	138	30	14,50	1 565	7,25 à 9,65	780 à 1 045
3	143	31	15	1 680	7,50 à 10	810 à 1 120

### TRANSMISSION DE LA VAPEUR

Pour un même écart de température entre la vapeur et l'eau, le coefficient de transmission à travers les parois d'un serpentin rempli de vapeur et placé dans un réservoir d'eau varie dans la proportion de 1 à 10, suivant la vitesse de circulation de l'eau.

D'après les expériences de Désormes, Thomas et Laurens, etc., Pécelet dit que 1 mètre carré de serpentin en cuivre, placé dans un liquide en mouvement, peut condenser environ 3 kilogrammes de vapeur par mètre carré et par heure, par degré d'écart entre les températures de la vapeur et de l'eau. Ce chiffre est considérable et correspond, pour de la vapeur à 100° et de l'eau entrant à 60° et sortant à 90°, à près de 40.000 calories par mètre carré de serpentin.

Les tableaux ci-dessous indiquent quelques résultats d'expériences faites par l'auteur.

#### I. — CAS DE L'EAU SANS CIRCULATION DANS UN RÉSERVOIR

1 mètre carré de serpentin en fer, placé dans un réservoir de 1 mètre cube de capacité, peut porter l'eau de la température initiale de 12° aux températures indiquées dans la première colonne.

	avec pression de vapeur de 0 <sup>sr</sup> .100 à 0 <sup>sr</sup> .200	avec pression de vapeur de 4 kilogrammes
à 50° .....	en 35 minutes	en 33 minutes
à 60.....	en 44 —	en 42 —
à 70.....	en 60 —	en 51 —
à 80.....	en 95 —	en 60 —
à 90.....	en 120 —	en 68 —
à 100.....	» —	en 77 —

#### II. — CAS DE L'EAU EN CIRCULATION CONTINUE

1 mètre carré de serpentin en fer, placé dans un réservoir plein d'eau de 1 mètre cube de capacité et rempli de vapeur à la pression de 0<sup>sr</sup>.100 à 0<sup>sr</sup>.200, peut fournir par minute

6 litres à 80°	} la température initiale de l'eau étant d'environ 12°
9 <sup>lit</sup> ,5 à 75°	
11 litres à 70°	
12 <sup>lit</sup> ,5 à 65°	
14 <sup>lit</sup> ,5 à 60°	
48 litres à 50°	

Avec la même disposition, mais la pression de vapeur étant 2 kilogrammes, on obtient par minute 35 litres d'eau à 60°, au lieu de 14<sup>lit</sup>,5.



MM. Thomas et Laurens indiquent les transmissions ci-après, pour de l'eau passant dans un tube en cuivre de 10 millimètres de diamètre, 1 millimètre d'épaisseur, et 0<sup>m</sup>,314 de longueur, soit une surface de transmission de 0<sup>m</sup>2,0986, placé dans un réservoir rempli de vapeur à 100°.

Vitesse de l'eau par seconde	Coefficient de transmission
0 <sup>m</sup> ,10.....	1.400
0 20.....	2.230
0 30.....	2.550
0 40.....	2.710
0 50.....	2.860
0 60.....	3.020
0 70.....	3.180
0 80.....	3.330
0 90.....	3.480
1 00.....	3.640
1 10.....	3.800

Ces chiffres peuvent servir de bases aux calculs des appareils de chauffage de l'eau par la vapeur.

Rietschel donne comme formule  $K = 300 + 1.800 \sqrt{v}$  par degré de différence de température entre la vapeur et l'eau.

Hansbrand propose la formule  $K = \frac{1.900}{\sqrt{dl}} \times n$ , dans laquelle  $d$  est le diamètre et  $l$  la longueur d'un serpentin, et  $n$  est un coefficient qui varie avec le métal : sa valeur est 1 pour le cuivre, 0,75 pour le fer, 0,50 pour la fonte, 0,45 pour le plomb.

### TRANSMISSION DES GAZ DE LA COMBUSTION A L'EAU A TRAVERS LA PAROI MÉTALLIQUE D'UN FOYER DE CHAUDIÈRE

Dans les foyers bien établis, où la combustion se fait avec une arrivée d'air convenable (18 mètres cubes d'air par kilogramme de charbon), la température des gaz du foyer peut être estimée à environ 1.000°.

On admet généralement, dans ces conditions, une transmission de 10.000 calories par mètre carré pour les chaudières à eau chaude (température maxima de l'eau, 100°), et de 7.500 calories par mètre carré pour les chaudières à vapeur (température, 100 à 150°).

M. SER (*Traité de Physique industrielle*) donne le tableau suivant, résultat de calculs, pour une chaudière à vapeur (température de l'eau, 150°), en ne considérant que la partie exposée au contact des gaz à 100°, sans tenir compte du foyer proprement dit :

Pour les gaz :

$$K = nf = 25 ;$$

pour l'eau :

$$K' = n' f' = 4.000.$$

SURFACE DE TRANSMISSION pour 1 kilogr. de houille	TEMPÉRATURE DES FLUIDES A L'EXTRÉMITÉ DE LA SURFACE		EXCÈS DE température	CHALEUR EN CALORIES transmises par mètre carré	RENDEMENT
	gaz	eau			
0	1.000°	150°	850°	21.250	0
0,25	361,9	150	211,9	11.486	0,638
0,30	310,5	150	160,5	10.342	0,689
0,35	271,6	150	121,6	9.285	0,728
0,50	202,8	150	52,8	7.174	0,797
0,80	160	150	10	4.725	0,840
1,00	153,3	150	3,3	3.810	0,847
∞	150	150	0	3.825	0,850

Ce tableau ne se vérifie guère pour les chaudières employées en chauffage à vapeur et à eau chaude.

Pour les premières, la surface de chauffe est presque toujours de 1<sup>m</sup>2,7 à 2 mètres carrés pour 1 kilogramme de charbon brûlé, avec un coefficient de transmission de 7.500 à 8.000 calories par mètre carré de surface.

Pour les secondes, le rapport du charbon à la surface de chauffe est de 2 à 2,7, avec un rendement de 10 à 12.000 calories par mètre carré.

Il est vrai que M. Ser ne tient pas compte dans son tableau du rayonnement du foyer, tandis que nos chiffres se rapportent à la surface de chauffe totale de la chaudière ; sa conception est donc purement théorique, car il n'existe pratiquement pas de chaudières dans lesquelles on n'utilise pas le foyer.

## CHAPITRE V

### APPLICATION DES FORMULES DE TRANSMISSION DE LA CHALEUR AU CHAUFFAGE D'UN LOCAL HABITÉ

Pour bien faire comprendre les formules précédentes, nous allons montrer comment on peut les appliquer à l'étude du chauffage, par les différents systèmes, d'un local habité.

Soit à chauffer le local représenté par la figure 24, de 10 mètres de long, 6 mètres de large, 4 mètres de haut, soit un volume de 240 mètres cubes, ventilé à raison de 100 mètres cubes par heure, et dans lequel il s'agit de maintenir une température de  $+ 18^{\circ}$  en régime de chauffage continu, lorsque la température extérieure est de  $- 7^{\circ}$  au-dessous de zéro.

On précise, pour ce local, les conditions ci-après :

1° Le plancher est en sapin, mi-partie, soit  $5^{\text{m}},00 \times 6^{\text{m}},00$ , sur terre-plein, mi-partie au-dessus d'un sous-sol, dont il est séparé par des vouitains en briques de  $0^{\text{m}},06$  d'épaisseur, plus  $0^{\text{m}},05$  de plâtras ;

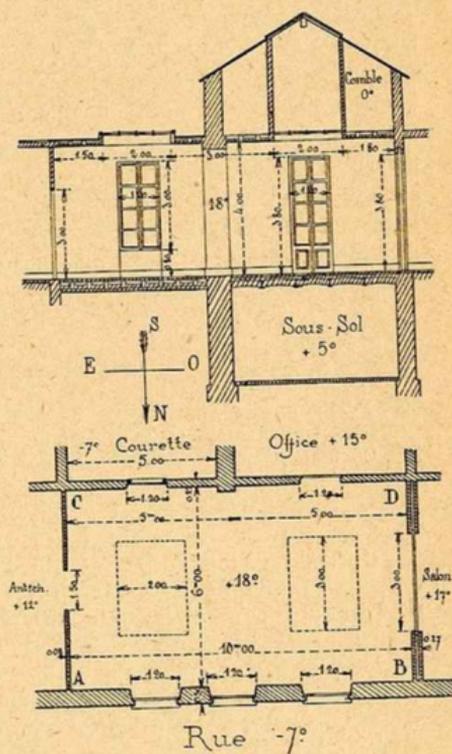


FIG. 24.

Rue  $-7^{\circ}$

2° Le plafond de  $10^m,00 \times 6^m,00$  est mi-partie sous terrasse en zinc, avec lattis jointif, sauf un châssis vitré de  $2^m,00 \times 3^m,00$  et mi-partie sous comble, avec plancher en sapin, et vitrage double de  $2^m,00 \times 3^m,00$ ;

3° Une face AB, de  $10^m,00 \times 4^m,00$  est au nord, exposée aux grands vents, construite en maçonnerie de pierres de taille de  $0^m,50$  d'épaisseur, et munie de trois fenêtres simples, garnies de rideaux, de  $1^m,20$  de largeur et 3 mètres de hauteur.

4° Une face AC, de  $6^m,00 \times 4^m,00$ , construite en carreaux de plâtre de  $0^m,08$  d'épaisseur, sépare la salle d'une antichambre maintenue à  $12^\circ$ , avec laquelle elle communique par une porte de  $1^m,50 \times 3^m,00$ , en bois de  $0^m,03$  d'épaisseur ;

5° Une face CD, construite en briques de  $0^m,22$  d'épaisseur, sépare la salle d'une cour intérieure de 5 mètres de largeur, sur laquelle elle est éclairée par une fenêtre sans rideaux de  $3^m,00 \times 1^m,20$ , et d'un office, supposé à  $15^\circ$ , avec lequel elle communique par une porte de  $1^m,20$  de largeur et  $3^m,80$  de hauteur, vitrée sans rideaux sur 3 mètres de hauteur, et en bois de  $0^m,03$  d'épaisseur à la partie basse, sur  $0^m,80$  de hauteur ;

6° Une face BD, de  $6^m,00 \times 4^m,00$ , construite en deux briques de chacune  $0^m,11$  d'épaisseur, avec un intervalle de  $0^m,06$  servant à une porte à coulisse, sépare la salle d'un salon supposé à  $17^\circ$ . La porte a  $3^m,00 \times 3^m,80$  et, comme la porte de l'office est vitrée à la partie haute, sur 3 mètres de haut, et en bois de  $0^m,03$  d'épaisseur à la partie basse, sur  $0^m,80$  de hauteur.

## CALCUL DES DÉPERDITIONS

<b>Sol :</b> <i>Partie sur terre-plein</i> : $5^m \times 6^m = 30$ mètres carrés ;	
Sol à $10^\circ$ , $T - \theta = 18 - 10 = 8^\circ$ ;	
Coefficient 1,90.	
$M_1 = 30^m^2 \times 1,90 \times 8^\circ = \dots\dots\dots$	456 calories
<i>Partie sur sous-sol</i> : $5^m \times 6^m = 30$ mètres carrés ;	
Sous-sol à $+5^\circ$ , $T - \theta = 18 - 5 = 13^\circ$ ;	
Coefficient 0,60.	
$M_2 = 30^m^2 \times 0,60 \times 13^\circ = \dots\dots\dots$	234 calories
<b>Plafond :</b> <i>Partie sous zinc</i> doublé en lattis jointif :	
$5^m \times 6^m = 30$ mètres carrés	
moins châssis vitré $2^m \times 3^m = 6$ —	
Reste.....	24 mètres carrés
Extérieur à $-7^\circ$ , $T - \theta = 18 + (-7) = 25^\circ$ ;	
Coefficient 1,50 ;	
$M_3 = 24^m^2 \times 1,50 \times 25^\circ = \dots\dots\dots$	900 calories
<i>Châssis vitré au plafond</i> : coefficient 5.	
$M_4 = 6^m^2 \times 5 \times 25^\circ = \dots\dots\dots$	750 calories
<i>A reporter</i> .....	2.340 calories



	<i>Repart</i> .....	2.340 calories
<i>Partie sous comble</i> : $5^m \times 6^m = 30$ mètres carrés		
Moins vitrage double $2^m \times 3^m = 6$ —		
Reste ..... 24 mètres carrés		
Comble $0^\circ$ , $T - \theta = 18 - 0 = 18^\circ$ ;		
Coefficient, plancher en bois 0,60.		
$M_5 = 24^m^2 \times 0,60 \times 18^\circ =$ .....		259 calories
<i>Châssis vitré double au fond.</i>		
Coefficient 3, $T - \theta = 18 + (-7) = 25^\circ$ ;		
$M_6 = 6^m^2 \times 3 \times 25^\circ =$ .....		450 calories
<b>Mur AB</b> : <i>Pierre calcaire</i> de $0,50$ , $10^m \times 4^m = 40^m^2$		
Moins 2 fenêtres $1^m,20 \times 3^m,80 \times 2 = 9^m^2,10$		
Reste ..... $30^m^2,90$		
Extérieur à $-7^\circ$ ;		
Majoration $3^\circ$ pour exposition au nord ;		
$T - \theta = 18 + (-7) + 3 = 28^\circ$ ;		
Coefficient 1,90.		
$M_7 = 30^m^2,90 \times 1,90 \times 28^\circ = 1.643$ } .....		2.464 calories
Majoration 50 0/0 pour vents violents = 821 )		
<i>Vitrage avec rideaux</i> : $1^m,20 \times 3^m \times 2 = 7^m^2,20$ ;		
Coefficient 3, $T - \theta = 28^\circ$ .		
$M_8 = 7^m^2,20 \times 3 \times 28^\circ = 605$ } .....		907 calories
Majoration 50 0/0 pour vents violents = 302 )		
<i>Partie basse de l'ébrasement des fenêtres</i> , supposée en briques de 0,22, avec peinture sur la face intérieure.		
Surface $1^m,20 \times 0^m,80 \times 2 = 1^m^2,90$ ;		
Coefficient 1,60, $T - \theta = 28^\circ$ .		
$M_9 = 1^m^2,90 \times 1,60 \times 28^\circ = 85$ } .....		128 calories
Majoration 50 0/0 pour vents violents = 43 )		
<b>Mur AC</b> : <i>Carreaux de plâtre</i> de 0,08, $6^m \times 4^m = 24^m^2$		
Moins porte $1^m,50 \times 3^m,80 = 1^m^2,90$		
Reste ..... $22^m^2,10$		
Antichambre à $12^\circ$ , $T - \theta = 18 - 12 = 6^\circ$ ;		
Coefficient 2,9 ;		
$M_{10} = 22^m^2,10 \times 2,9 \times 6^\circ =$ .....		384 calories
<i>Porte en bois</i> de $0^m,03$ d'épaisseur :		
Coefficient 1,82 ;		
$M_{11} = 1^m^2,90 \times 1,82 \times 6^\circ =$ .....		21 calories
<b>Mur CD</b> : <i>Partie extérieure sur cour</i> : briques de 0,22 avec papier		
sur une face, $5^m \times 4^m = 20^m^2$		
Moins fenêtre, $1^m,20 \times 3^m,80 = 4^m^2,55$		
Reste ..... $15^m^2,45$		
Extérieur à $-7^\circ$ , $T - \theta = 18 + (-7) = 25^\circ$ ;		
Coefficient 1,60 ;		
$M_{12} = 15^m^2,45 \times 1,60 \times 25^\circ =$ .....		618 calories
<i>A reporter</i> .....		7.571 calories

	<i>Report</i> .....	7.571 calories
<i>Vitrage sans rideaux</i> : $1^m,20 \times 3^m = 3^m,60$ ;		
Coefficient 4 ;		
	$M_{13} = 3^m,60 \times 4 \times 25^\circ =$ .....	360 calories
<i>Partie basse de l'ébrasement</i> , en briques de 0,11 avec enduit et peinture sur une face $1^m,20 \times 0^m,80 = 0^m,96$ ;		
Coefficient 2,10 ;		
	$M_{14} = 0^m,96 \times 2,10 \times 25^\circ =$ .....	50 calories
<i>Partie intérieure</i> :		
Briques de 0,22 avec papier, $5 \times 4 = 20^m,2$		
	Moins porte, $1^m,20 \times 3^m,80 = 4^m,55$	
	Reste..... $15^m,2,45$	
	Coefficient 1,6 $T - \theta = 18 - 15 = 3^\circ$ ;	
	$M_{15} = 15^m,2,45 \times 1,6 \times 3^\circ =$ .....	74 calories
<i>Porte, partie vitrée</i> : $1^m,20 \times 3^m = 3^m,60$ ;		
Coefficient 4, $T - \theta = 3^\circ$ ;		
	$M_{16} = 3,60 \times 4 \times 3^\circ =$ .....	43 calories
<i>Porte, partie en bois</i> de $0^m,03, 1^m,20 \times 0^m,80 = 0^m,96$ ;		
Coefficient 1,82, $T - \theta = 3^\circ$ ;		
	$M_{17} = 0^m,96 \times 1,82 \times 3^\circ =$ .....	4 calories
<b>Mur BD</b> : <i>Mur 2 briques</i> de 0,11, séparées par un vide.		
	Surface $6^m \times 4^m = 24^m,2$	
	Moins porte $3^m \times 3^m,80 = 11^m,2,40$	
	Reste..... $12^m,2,60$	
	Coefficient 1,40, $T - \theta = 18 - 17 = 1^\circ$ ;	
	$M_{18} = 12^m,2,60 \times 1,40 \times 1^\circ =$ .....	18 calories
<i>Porte, partie vitrée</i> , $3^m \times 3^m = 9$ mètres carrés ;		
Coefficient 4, $T - \theta = 1^\circ$ ;		
	$M_{19} = 9^m,2 \times 4 \times 1^\circ =$ .....	36 calories
<i>Porte, partie basse en bois</i> de 0,03 :		
	Surface $30 \times 0^m,80 = 2^m,40$ ;	
	Coefficient 1,82, $T - \theta = 1^\circ$ ;	
	$M_{20} = 2^m,40 \times 1,82 \times 1^\circ =$ .....	5 calories
	Dépense totale par les parois .....	8.161 calories
<i>Pertes par la ventilation</i> , à raison de 100 mètres cubes renouvelés par heure, pris à l'extérieur à $-7^\circ$ , et évacués à $+18^\circ$ , température de la salle.		
	$M_{21} = 0,307V (T - \theta) = 0,307 \times 100 \times 25^\circ =$ ..	767 calories
	Calories totales à fournir par heure pour maintenir à l'intérieur $18^\circ$ , par $-7^\circ$ à l'extérieur, y compris la ventilation.....	8.928 calories

Le volume de la salle étant de  $10 \times 6 \times 4 = 240$  mètres cubes, on voit que le chiffre de calories à fournir par heure et par mètre cube, en régime de fonctionnement continu, est de :

$$\frac{8.928}{240} = 37^{\text{cal}},2$$