

FORMULAIRE DU FROID

La RPF & www.larpf.fr

L'offre d'information bimédia des professionnels
de la réfrigération



10 numéros par an

- Une analyse détaillée des évolutions techniques et réglementaires.
- Des retours d'expériences d'installateurs sur des réalisations complexes.
- Une rubrique "spéciale ENR".
- L'actualité marquante du secteur commentée par les professionnels.



À tout moment sur www.larpf.fr

avec vos codes d'accès





- Un accès aux ressources métiers en illimité à des documents de référence (textes législatifs, bases documentaires multimédia, schémas techniques,...).
- Des dossiers d'experts délivrés par des professionnels reconnus : des cas concrets, des retours d'expériences, etc.
- Tous les articles archivés de la RPF.
- Une base de données produits et services et un annuaire Pro.

Pour vous abonner, rendez-vous sur www.larpf.fr/Boutique
ou contactez-nous au 01 53 26 48 00

Pierre Rapin
Patrick Jacquard
Serge Sandre

FORMULAIRE DU FROID

15^e édition

-  Technologie des matériels frigorifiques
-  Automatismes et régulation
-  Applications sectorielles
-  Maintenance et sécurité

**La
Rpf**

DUNOD

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage. Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements



d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée. Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).

© Dunod, 1998, 2003, 2006, 2010, 2014

5 rue Laromiguière, 75005 Paris

www.dunod.com

ISBN 978-2-10-070896-3

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.



AVANT-PROPOS

à la 15^e édition

« *Savoir pour prévoir, afin de pouvoir.* »
Auguste Comte

Dans un monde où tout change très vite et où la demande pour répondre aux attentes environnementales croît de façon exponentielle, il est d'importance capitale de travailler sans relâche afin de pouvoir être réactif et influent pour faire face aux responsabilités qui sont les nôtres.

Dans la précédente édition, j'avais contribué à l'enrichissement de ce formulaire, un ouvrage qui me tient particulièrement à cœur, dans la mesure où il touche de près à la profession qui est la mienne et aux réalités auxquelles nous sommes confrontés tous les jours dans nos métiers de l'énergétique et en particulier du froid.

Cette fois, c'est avec un grand plaisir que je me joins à mon ami et auteur Patrick pour la coécriture de ce livre.

Cette 15^e édition, qui ne cesse d'être enrichie, apporte des nouveautés indispensables à notre profession, comme les centrifuges, la régulation, le nouveau fluide HFO, la maintenance des chambres froides, etc. Elle est également entièrement mise à jour en ce qui concerne les nouvelles normes et réglementations, qui changent et évoluent très vite.

J'espère que cette nouvelle édition vous apportera le savoir nécessaire et suffisant afin de pouvoir répondre à vos attentes. Ce legs de notre cher Pierre Rapin est le souhait qui a toujours animé les auteurs de cet ouvrage depuis sa première édition.

Avril 2014,
Serge SANDRE



AVANT-PROPOS

à la 14^e édition

« La question la plus urgente dans la vie est :
Que faites-vous pour les autres ? »

Martin Luther King

Je répondrai à cela : « écrire pour partager son savoir dans le but d'aider autrui. »

Pour la 14^e édition du *Formulaire du froid*, je me suis occupé d'enrichir la 13^e écrite par mon ami et collègue Patrick Jacquard (par exemple, les tours de refroidissement, l'accumulation ou le stockage de froid, etc.).

Aussi, ne fut-il pas difficile pour moi d'enrichir cet aide-mémoire déjà presque complet, qui est le fruit d'un travail approfondi puisque nous arrivons à la 14^e édition.

En effet, je suis moi-même auteur de deux ouvrages : *La pratique du froid* (3^e édition, Dunod, 2007) et *La pratique de la climatisation* (2^e édition, Dunod, 2009), coécrits avec Patrick Jacquard. Notre collaboration a été efficace dans la rédaction de ces deux livres qui ont déjà été réédités plusieurs fois et qui m'ont permis de mettre mon savoir à disposition de tous. Cette expérience a été utile pour compléter le plus précisément possible cette 14^e édition.

Ayant passé plusieurs années en tant que technicien et ensuite en tant qu'ingénieur, j'ai acquis une solide expérience professionnelle dans le domaine du froid. À présent, je suis professeur référent en énergétique au lycée Raspail à Paris, où j'enseigne en BTS FEE.

Je terminerai en citant Pierre Rapin, pour rendre hommage à mon ancien professeur et auteur des sept dernières éditions du *Formulaire du froid*, car tout comme lui mon seul souhait en complétant cet ouvrage est « que cette édition rende à tous ceux qui l'utiliseront les services qu'ils en attendent ».

Mars 2010,
Serge SANDRE

AVANT-PROPOS

à la 13^e édition

Pierre Rapin nous a quitté le 20 octobre 2000.

C'est avec beaucoup d'émotion que je reprends seul la rédaction des nouvelles éditions du *Formulaire du froid*. Je souhaite maintenir l'esprit originel de cet ouvrage alliant pratique et théorie dans un souci de clarté et de service.

Pour rendre hommage à Pierre, j'intègre dans la présente édition son dernier avant-propos datant de décembre 1998.

J'espère que cette 13^e édition du *Formulaire du froid* répondra aux attentes de tous ses lecteurs.

Mars 2006,
Patrick JACQUARD

REMERCIEMENTS

Les documents ayant permis l'illustration de cet ouvrage nous ont été fournis par :

- Cemafrroid ;
- Transfrigoroute ;
- les sociétés : Arkema ; Bitzer ; Burton Corblin ; Carel ; Carly ; CIAT ; Chriskow ; Climalife ; Comef ; Dagard ; Daikin ; Danfoss ; du Pont de Nemours ; Friga-Bohn, Galaxair ; Heatcraft ; Johnson Controls ; Luve Contardo ; Mastercool ; Robinair ; Sibir Camping-Gaz ; Trane ; Unité Hermétique ; US Reco ; Viessmann.

Nous les en remercions vivement.

AVANT-PROPOS

à la 11^e édition

Ce qui fait finalement la vie pleine c'est d'avoir eu la chance de pouvoir donner beaucoup de soi aux autres.

P. Theillard de Chardin

1998 : année de la commémoration de plusieurs événements nationaux et internationaux.

- Centenaire du cinéma (des premiers films à scénario).
- Quatre-vingt-dixième anniversaire de l'AFF qui œuvra pour faire décerner en 1913 à Charles Tellier le titre de Père du Froid.
- Quatre-vingtième anniversaire de l'armistice.
- Cinquantenaire de la Déclaration universelle des Droits de l'Homme.

Mais 1998 est aussi l'année du cinquantenaire du *Formulaire du froid*.

Pour le célébrer, nous ne pouvions mieux faire qu'offrir à nos lecteurs une nouvelle édition du *Formulaire*.

Voilà ce qui est fait en cette année.


En 1948 donc, naissance du *Formulaire*.

Cette même année je faisais la connaissance de son auteur R. Martel qui entrait comme Ingénieur frigoriste au service «Fabrication» de la société où j'étais moi-même Ingénieur au service «Installations».

Notre vie professionnelle nous réunissant, maintes fois nos conversations ont roulé sur le *Formulaire* et il m'avait exposé la ligne de conduite qu'il s'était fixée et le but qu'il poursuivait en rédigeant cet ouvrage : « guider et rendre service ».

Je ne me doutais pas alors que je serai amené, du fait de son état de santé, à participer à la rédaction et à la réalisation de la cinquième édition de cet ouvrage, où nos deux noms figuraient comme co-auteurs, ni que vingt ans après notre première rencontre, je resterais seul, son nom étant effacé de la sixième édition et des suivantes.

Après plus de quarante années consacrées à l'industrie du froid et de la climatisation, pour moitié dans le privé, pour moitié dans l'enseignement technique, je pense avoir



eu une vie professionnelle pleine au sens où l'entendait Theillard de Chardin, mais il appartient aux autres d'en juger et non à moi-même.

De façon à « serrer » au plus près l'évolution constante de toutes les techniques liées à l'industrie du froid et de la climatisation, j'ai demandé à mon ancien élève et collègue Patrick Jacquard de participer à l'élaboration de la dixième, puis de cette onzième édition.

Notre collaboration particulièrement efficace a permis d'inclure beaucoup de nouveaux éléments que je lui laisse le soin de préciser ci-après.

Que cette édition rende à tous ceux qui l'utiliseront les services qu'ils en attendent, c'est le souhait que je formule.

Un jour viendra où mon nom disparaîtra de cet ouvrage. Je souhaite jusqu'à ce terme, en l'améliorant sans cesse et en faisant du *Formulaire du froid* un fidèle reflet de l'évolution des techniques frigorifiques et de climatisation, persévérer dans la ligne et l'esprit de son premier auteur « Guider et rendre service » afin que la pérennité de l'œuvre soit assurée quel que soit le nom qui figure en tête de l'ouvrage.

Décembre 1998,
Pierre J. RAPIN

TABLE DES MATIÈRES

1 ■ Généralités	1
1.1 Notions de physique.....	1
1.2 Propriétés générales des gaz	19
1.3 Caractéristiques de l'air humide	19

Partie A : PRODUCTION DU FROID

2 ■ Fluides frigorigènes	41
2.1 Introduction	41
2.2 Généralités	51
2.3 Fluides frigorigènes employés dans les installations frigorifiques	52
2.4 Relation température-pression	78
2.5 Récupération des fluides frigorigènes	81

3 ■ Production du froid	113
3.1 Généralités	113
3.2 Réfrigération par évaporation	114
3.3 Machines à compression mécanique.....	115
3.4 Machines à absorption de faible puissance.....	118
3.5 Machines à absorption de moyenne et forte puissances	125
3.6 Réfrigération thermoélectrique	139

Partie B : TECHNOLOGIE DES MATÉRIELS FRIGORIFIQUES

4 ■ Compresseurs et motocompresseurs	147
4.1 Compresseurs alternatifs ouverts	148
4.2 Motocompresseurs hermétiques.....	156
4.3 Motocompresseurs hermétiques accessibles	161

4.4	Motocompresseurs à spirales	165
4.5	Motocompresseurs à vis birotors	167
4.6	Les compresseurs centrifuges	171
4.7	Compresseurs spéciaux	177
4.8	Lubrifiants	178
4.9	Robinets de service	181
5	■ Condenseurs	185
5.1	Condenseurs à air	185
5.2	Condenseurs ménagers	188
5.3	Condenseurs à eau	188
6	■ Tours de refroidissement (TAR)	195
6.1	Tours de refroidissement à circuit ouvert	195
6.2	Tours de refroidissement à circuit fermé	198
7	■ Refroidisseurs secs ou dry-cooler ou aéroréfrigérants	203
8	■ Condenseurs évaporatifs	207
9	■ Réglementation et légionella	211
9.1	Rubrique n° 2921 : installations de refroidissement par dispersion d'eau dans un flux d'air	211
9.2	Les installations du type circuit primaire fermé	213
9.3	Les installations qui ne sont pas du type circuit primaire fermé	215
9.4	Prescriptions	216
9.5	Déclaration des installations	217
9.6	Legionella	219
10	■ Évaporateurs	225
10.1	Évaporateurs ménagers	225
10.2	Évaporateurs commerciaux	228
10.3	Dégivrage des évaporateurs	238
11	■ Appareillages annexes du circuit tuyauteries et robinetterie	243
11.1	Séparateurs d'huile	243
11.2	Réservoirs de liquide	245
11.3	Bouteilles d'aspiration	246
11.4	Filtres	247
11.5	Cartouches filtrantes	249

11.6	Voyants de liquide.....	250
11.7	Clapets de retenue.....	251
11.8	Échangeur de chaleur liquide-vapeur.....	252
11.9	Déshydrateurs.....	253
11.10	Éliminateurs de vibrations.....	258
11.11	Silencieux de refoulement.....	259
11.12	Dispositif antipulsatoire.....	259
11.13	Robinetterie.....	260
11.14	Dispositif de retour et de contrôle de niveau d'huile dans une installation avec plusieurs compresseurs.....	262
11.15	Tuyauteries.....	263

Partie C : AUTOMATISME ET RÉGULATION

12 ■ Appareillages principaux d'automatisme 269

12.1	Organes de conduite.....	269
12.2	Organes d'alimentation.....	270
12.3	Organes de régulation.....	287

13 ■ Appareillages secondaires d'automatisme 311

13.1	Vanne à pression constante.....	312
13.2	Régulateur de démarrage.....	313
13.3	Régulateur de capacité.....	314
13.4	Montage des régulateurs.....	314
13.5	Vanne magnétique.....	314
13.6	Vannes à eau.....	317
13.7	Variateurs de vitesse pressostatique.....	319
13.8	Régulation de la pression de condensation.....	323

14 ■ La régulation 325

14.1	Introduction.....	325
14.2	Vocabulaire.....	327
14.3	Principe de la régulation.....	330
14.4	Les modes de régulation.....	331
14.5	Méthode de réglage des régulations proportionnelle, proportionnelle intégrale et proportionnelle intégrale dérivée.....	342
14.6	Quelques exemples de régulation sur les groupes frigorifiques.....	343

Partie D : CONSTRUCTIONS ISOTHERMIQUES BILANS FRIGORIFIQUES

15 ■ Isolants	351
16 ■ Chambres froides	355
16.1 Construction en dur.....	355
16.2 Construction modulable.....	356
16.3 Sécurité et réglementation dans les chambres froides	359
17 ■ Bilan frigorifique	361

Partie E : APPLICATIONS DU FROID

18 ■ Réfrigération et congélation	375
18.1 Chaîne du froid	375
18.2 Réfrigération	375
18.3 Congélation (congélation lente).....	376
18.4 Surgélation (congélation rapide).....	376
18.5 Conservation des denrées à température positive	382
18.6 Conditions de conservation des denrées	384
18.7 Textes réglementaires.....	394
19 ■ Refroidissement des liquides	399
19.1 Bière et eau	399
19.2 Lait	409
20 ■ Glace hydrique glace carbonique	415
20.1 Glace hydrique.....	415
20.2 Glace carbonique	424
21 ■ Boulangerie-pâtisserie crèmes glacées	425
21.1 Panification	425
21.2 Crèmes glacées.....	431
21.3 Machines à Soft Ice.....	436

22 ■ Meubles frigorifiques congélateurs domestiques	439
22.1 Meubles frigorifiques ouverts	439
22.2 Conservateurs.....	443
22.3 Congélateurs domestiques	444
23 ■ Véhicules de transport de denrées périssables	447
23.1 Coefficient de transmission de chaleur	448
23.2 Caractéristiques des véhicules	450
23.3 Accord Transfrigoroute International (1 ^{er} juin 1957).....	453
23.4 Constitution des carrosseries.....	454
23.5 Nature des denrées	456
23.6 Chargement	457
23.7 Réfrigération des engins	457
23.8 Véhicules routiers	462
24 ■ Réfrigérateurs ménagers	463
24.1 Fabrication	463
24.2 Essais de fonctionnement.....	466
24.3 Matières plastiques.....	470
25 ■ Accumulation ou stockage de froid	473
25.1 Généralités	473
25.2 Solutions d'accumulation	475
25.3 Stockage de l'énergie par chaleur sensible	477
25.4 Stockage de l'énergie par chaleur latente	479
25.5 Processus de stockage par chaleur latente.....	481

Partie F : APPAREILLAGES ÉLECTRIQUES

26 ■ Moteurs	493
26.1 Types de moteurs	493
26.2 Caractéristiques des moteurs électriques	498
26.3 Installation et utilisation des moteurs	503
27 ■ Alimentation électrique d'un moteur	511
27.1 Sectionneurs à fusibles.....	511
27.2 Discontacteurs.....	512
27.3 Relais thermiques.....	512
27.4 Disjoncteur	513

27.5	Sectionneur-contacteur-disjoncteur intégral	513
27.6	Anomalies de fonctionnement des disjoncteurs	513

28 ■ Conducteurs électriques **515**

28.1	Densité de courant	515
28.2	Détermination de la section des conducteurs	515

29 ■ Relais **519**

29.1	Généralités	519
29.2	Relais de protection et de démarrage	519

Partie G : MISE EN ŒUVRE ET MAINTENANCE

30 ■ Montage **525**

30.1	Outillage du monteur	525
30.2	Montage sur chantier	528
30.3	Réalisation des tuyauteries	530
30.4	Sécurité du chantier	534

31 ■ Mise en service **537**

31.1	Pose d'un bypass	544
31.2	Vérification de l'étanchéité	547
31.3	Mise sous vide d'une installation	553
31.4	Charge en fluide frigorigène	555
31.5	Critères de détermination d'une charge optimale	557
31.6	Relevés types	559
31.7	Vérifications après mise en service	580
31.8	Réglage d'un détendeur thermostatique	580
31.9	Méthode de réglage des pressostats	581

32 ■ Dépannage **583**

32.1	Causes principales de dysfonctionnement	584
32.2	Dépannage des unités hermétiques	590
32.3	Dépannage des armoires ménagères et des équipements à unités hermétiques	592
32.4	Vérification d'ordre électrique	595
32.5	Changement d'un appareil défectueux	596
32.6	Intervention sur le compresseur	598
32.7	Récupération des fluides frigorigènes	598

32.8	Changement de fluide	602
33.9	Travail en atelier	614
33	■ Mesure des caractéristiques d'une installation	623
33.1	Rendement volumétrique d'un compresseur.....	623
33.2	Puissance frigorifique.....	624
33.3	Mesure de débits	627
34	■ Maintenance	631
34.1	Analyse du lubrifiant.....	631
34.2	Généralités sur la maintenance	635
34.3	Contrats de maintenance	637
34.4	Exemple : production d'eau glacée.....	643
34.5	Exemple : circuit frigorifique.....	647
34.6	Exemple de planning de maintenance des chambres froides.....	647
35	■ Schémas fluidiques et schémas électriques	657
35.1	Rôle d'un schéma.....	657
35.2	Applications	684
36	■ Évaluation des risques professionnels	695
36.1	Réglementation	695
36.2	Définitions.....	695
36.3	L'évaluation des risques.....	696
36.4	Le document unique.....	697
36.5	Exemple de présentation d'un document unique	698
36.6	L'organigramme de prévention	699
36.7	L'identification des risques	699
36.8	Les symboles de danger des substances dangereuses (SGH)	703
36.9	Les règles à respecter	705

Partie H : ANNEXES

1	• Lexique anglais/français	710
2	• Facteurs de conversion.....	712
3	• Recherche de pannes sur une installation frigorifique	714
	Index	717



1 Généralités

1.1 NOTIONS DE PHYSIQUE

■ CHALEUR

La chaleur est une forme de l'énergie. C'est la sensation perçue par nos organes des sens lorsque nous sommes placés devant un foyer en activité ou un corps incandescent par exemple. La vie terrestre est tributaire d'une des principales sources de chaleur : le soleil. La chaleur se manifeste également lors du passage d'un courant électrique dans une résistance, lors de la compression brusque d'un gaz, lors de certaines réactions chimiques, etc.

■ FROID

C'est la sensation que fait éprouver l'absence, la perte ou la diminution de la chaleur. Par comparaison, le froid est à la chaleur ce que l'obscurité est à la lumière. Froid et obscurité sont des termes négatifs. Ils indiquent simplement l'absence ou la diminution, soit de la chaleur, soit de la lumière.

■ TEMPÉRATURE

C'est le « niveau » auquel la chaleur (énergie calorifique) se trouve dans un corps. Elle caractérise l'action plus ou moins énergétique de la chaleur sur nos sens. C'est la température qui nous permet de dire qu'un corps est plus ou moins chaud qu'un autre.

■ ÉCHANGE DE CHALEUR

Lorsque deux corps sont en présence, la chaleur va toujours du corps chaud au corps froid, l'échange de chaleur ne cessant que lorsque les deux corps sont à la même température.

EXEMPLE

Corps froid : l'évaporateur d'un système frigorifique.

Corps chaud : les denrées entreposées dans le réfrigérateur.

Les denrées (corps chaud) cèdent une partie de leur chaleur à l'évaporateur (corps froid), leur chaleur ayant diminué, leur température s'abaisse.

■ TRANSMISSION DE LA CHALEUR

La chaleur peut se transmettre d'un corps à un autre par trois modes de transmission différents (fig. 1.1).

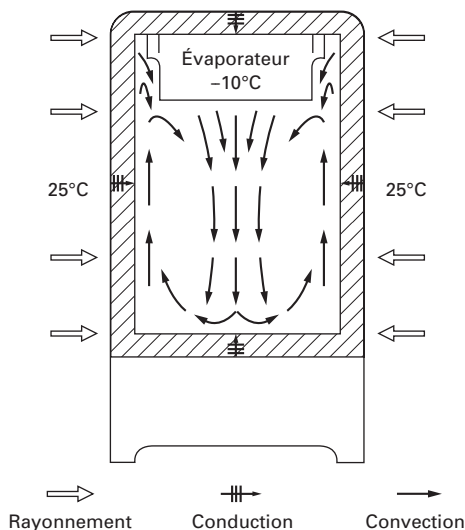


Fig. 1.1 Transmission de la chaleur à travers les parois d'un réfrigérateur. Association des trois modes de transmission.

1. Par conduction. La transmission de chaleur par conduction a lieu dans un seul et même corps lorsque ses parties présentent des températures différentes, ou d'un corps à un autre si ses deux corps ayant des températures différentes sont en contact.

EXEMPLES

Chauffage d'une tige métallique, à partir d'un foyer ou chauffage d'un récipient posé sur la sole d'un réchaud électrique.

Il y a des corps bons conducteurs de la chaleur, par exemple : le cuivre, l'argent, l'aluminium, etc., et des corps mauvais conducteurs (ou calorifuges) tels que le bois, le liège, les polystyrènes, le carton, etc.

2. Par rayonnement (fig. 1.2). Les rayons calorifiques se propagent en ligne droite dans l'espace, et émis par un corps à température élevée ils sont absorbés partiellement