

Frigoriste

*Couverture : Zakary El Kassimi*

# Sommaire

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| Présentation .....                              | 5  |
| Dialogue avec M. Bouteloup .....                | 7  |
| Chapitre 1 : Histoire du froid .....            | 9  |
| 1.1 De l'antiquité à nos jours .....            | 11 |
| 1.2 Comprendre le froid .....                   | 15 |
| 1.2.1 Qu'est-ce que le froid ?                  |    |
| 1.2.2 La fabrication du thermomètre Florence    |    |
| 1.2.3 Une échelle de température                |    |
| 1.2.4 Relation pression/température             |    |
| 1.2.5 Lavoisier et Rumford                      |    |
| 1.2.6 Michaël Faraday                           |    |
| 1.3 Le froid naturel .....                      | 32 |
| 1.3.1 Frédéric Tudor                            |    |
| 1.4 Le froid artificiel .....                   | 41 |
| 1.4.1 Sadi Carnot                               |    |
| 1.4.2 La révolution industrielle                |    |
| 1.5 La course au zéro absolu .....              | 51 |
| 1.6 Le froid et la climatisation .....          | 55 |
| Chapitre 2 : Le métier de Frigoriste .....      | 63 |
| 2.1 Etudes à Raspail                            |    |
| Chapitre 3 : Exemples de sites importants ..... | 75 |
| 3.1 BnF                                         |    |
| 3.2 Palais Omnisport Paris-Bercy                |    |
| 3.3 L'arche de la Défense - Eiffage             |    |
| Chapitre 4 : Parcours d'un frigoriste .....     | 93 |
| Chapitre 5 : Remerciements .....                | 98 |



Jean Paul Pruvost



Présentation

# JP. Pruvost Frigoriste

Bac Pro  
Technique du Froid  
et du  
Conditionnement  
d'Air



# Jacques Bouteloup

Professeur au lycée  
Raspail à Paris

## 1 ) Le rôle du froid dans le monde

Le froid artificiel est essentiel à la vie des hommes dans notre monde. Il participe à la conservation des denrées alimentaires périssables. C'est donc une technique vitale car les hommes ont une vie de plus en plus urbaine.

La climatisation participe au confort des individus pour une vie plus agréable mais aussi pour une plus grande efficacité lors du travail. Le conditionnement d'air est indispensable au développement des processus industriels.

## 2 ) Evolution des techniques et du matériel en froid

La technique du froid artificiel est en perpétuelle évolution et la recherche d'une efficacité toujours meilleure en est le moteur.

Les compresseurs à vis et les compresseurs à spirales ont contribué à améliorer l'efficacité des machines frigorifiques.

Au cours des dernières décennies, les exigences environnementales ont influencé la technique du froid. D'ailleurs, les fluides frigorigènes les plus toxiques pour la nature ont disparu, les nouveaux n'altèrent plus la couche d'ozone et ont un impact réduit sur le réchauffement de la planète.

Enfin, les fluides frigorigènes naturels comme par exemple le CO<sub>2</sub> ont une part de plus en plus importante.

La gestion des installations frigorifiques est aussi de plus en plus performante.

## 3 ) Evolution de l'enseignement du froid

L'enseignement du froid est exigeant car des disciplines variées s'y croisent. Ce sont : la thermodynamique, l'électrotechnique, les échanges thermiques, la mécanique, l'hydraulique, l'acoustique.

La connaissance du froid requiert curiosité et intérêt de la part des étudiants mais aussi réflexion et travail assidu.

L'enseignement s'est aussi largement diversifié avec le développement de l'informatique. Bien entendu, le traitement de textes, les tableurs, sont devenus une réalité quotidienne.

Le dessin assisté par ordinateur a remplacé le dessin réalisé à la main.

Les logiciels 3D sont apparus et devraient prendre de plus en plus de place.

## Les frigoristes ont de l'avenir !

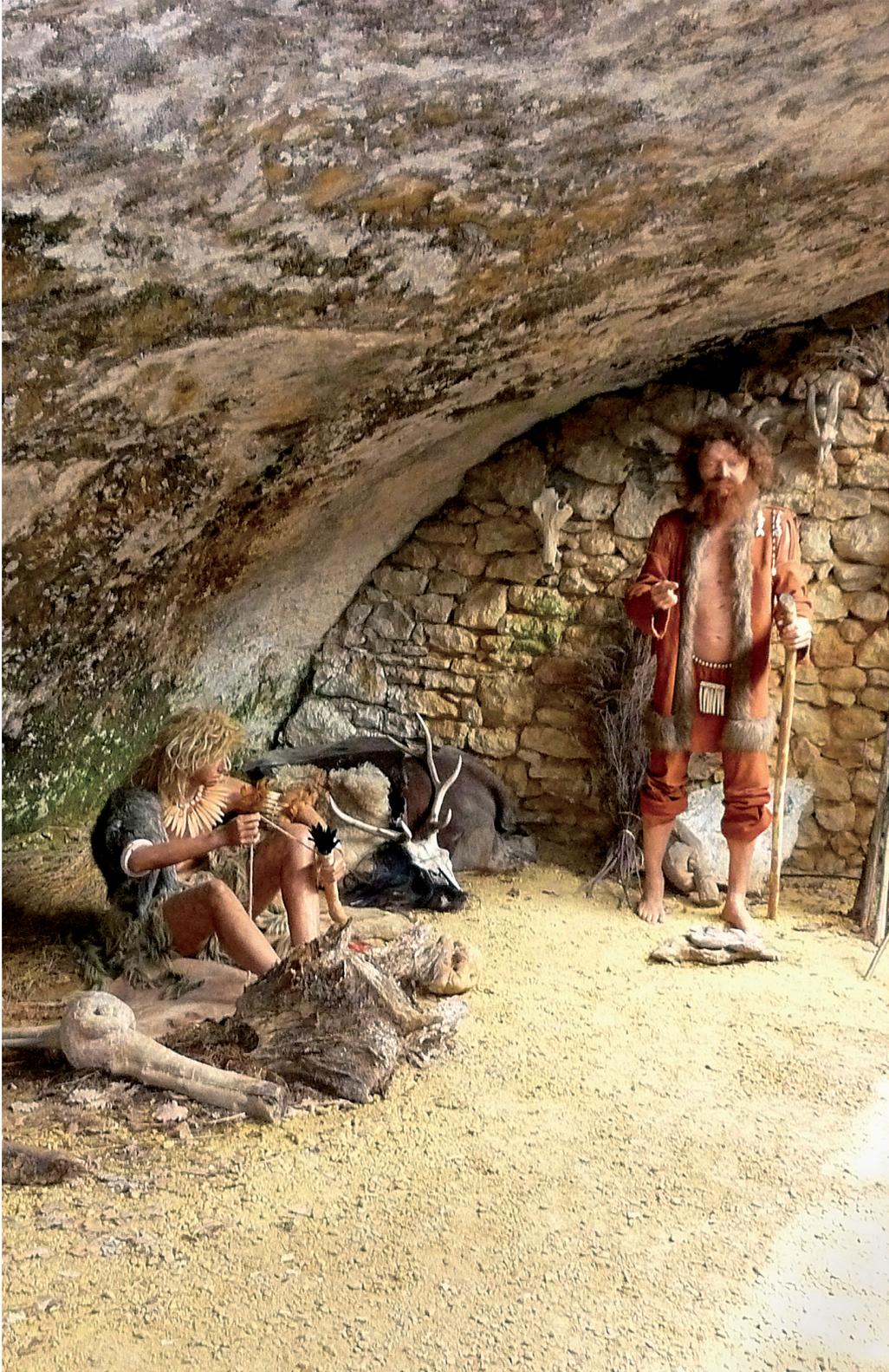


Frigoriste

Chapitre 1

# Histoire du froid



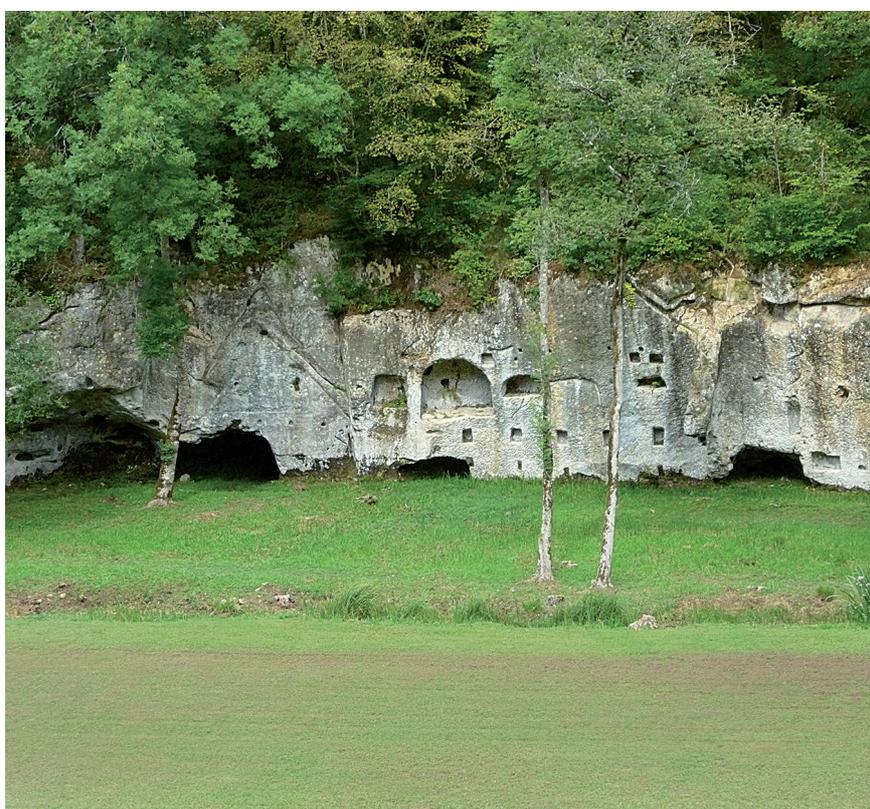


# De l'antiquité à nos jours, exploitation du froid naturel

**D**es fouilles archéologiques nous prouvent que l'homme préhistorique avait pris conscience que le gibier abattu, placé dans un milieu froid, se conservait plus longtemps que s'il avait été placé à la chaleur.

Au fond des cavernes, la température est constante quelles que soient les conditions climatiques extérieures, il entassait de la neige pour y placer le fruit de ses chasses.

Au 5<sup>e</sup> siècle avant J-C, le grec Protagoras rapportait que les égyptiens produisaient de la glace dans des récipients plats placés sur le toit des maisons. Dans les pays au ciel très clairs, le rayonnement thermique de l'eau permettait, sous certaines conditions atmosphériques, un refroidissement suffisant pour produire de la glace.



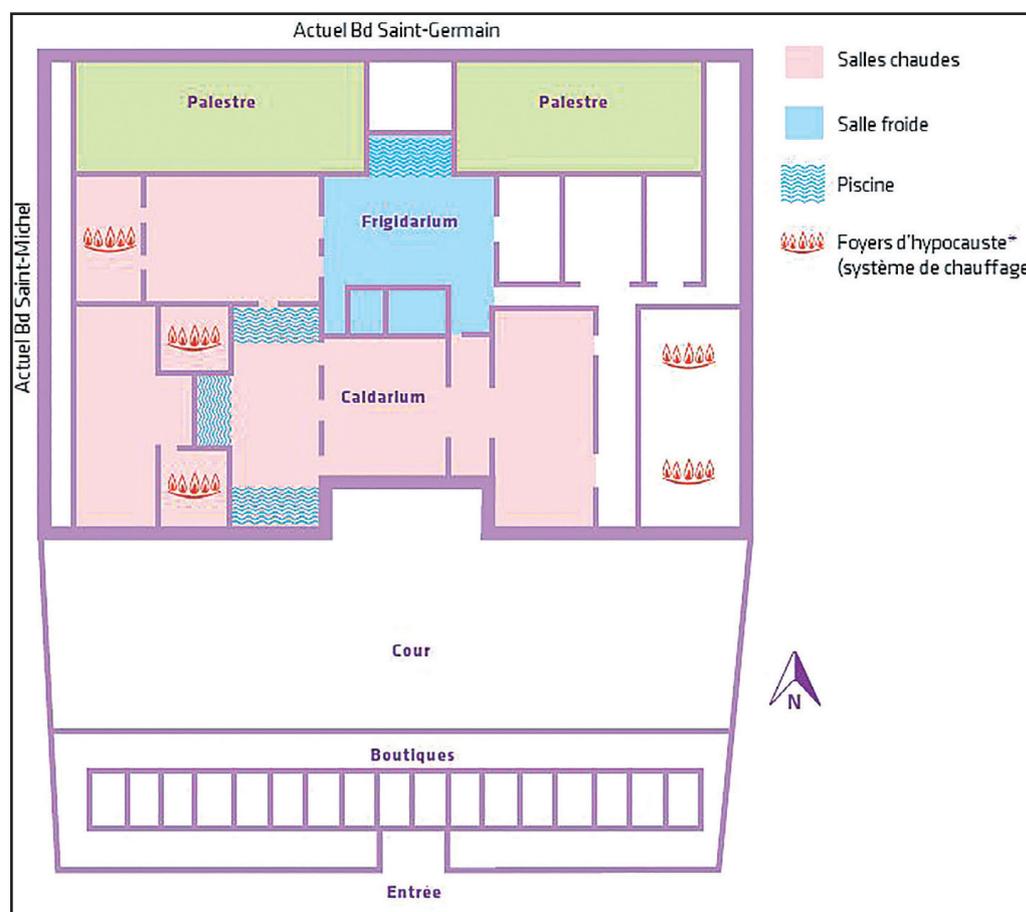
Ainsi lorsque le gibier se faisait plus rare ou que la tempête faisait rage, notre homme préhistorique n'avait qu'à se servir dans son «réfrigérateur».

Se prémunir contre la famine et varier les aliments était l'objet constant de ses journées.

**D**ans l'Antiquité, les empereurs romains envoyaient leurs serviteurs chercher des huîtres en Armorique, des truites dans le Rhin, des langoustes en Sardaigne... Et tout cela était ramené à Rome grâce à la glace recueillie au passage dans les Alpes.

Mieux encore, l'un d'eux faisait ramener dans la capitale romaine de la neige prise en montagne afin de confectionner des sorbets.

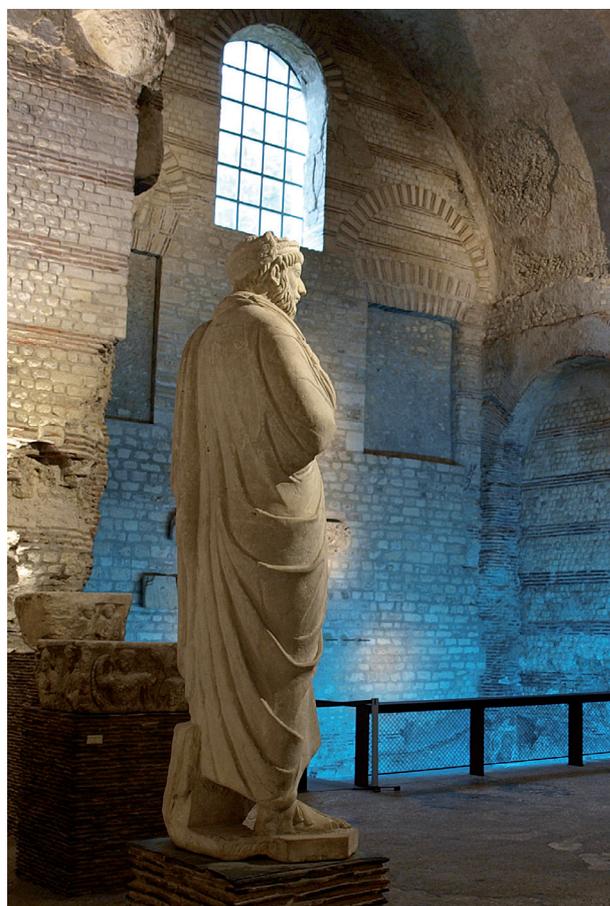
Un bon exemple de l'utilisation du mot «Frigidarium» est l'une des salles des thermes de Cluny situés dans Paris à l'angle du boulevard Saint-Germain et du Boulevard Saint-Michel dans le 5<sup>ème</sup> arrondissement. On peut y voir les salles chaudes appelées «Caldarium» et la salle froide qui possède encore sa couverture voutée qui culmine à près de 14 mètres de hauteur et fait de cette pièce la plus spectaculaire de l'ensemble.





Très fréquentés par les femmes et les hommes, les thermes étaient un lieu privilégié de la diffusion d'un mode de vie et de modèles artistiques dans l'ensemble de

l'empire romain. Le bain était un moment important de la vie quotidienne dans l'antiquité, et très tôt on lui destina des édifices tant privés que publics.



Les «thermes du nord de Lutèce» dits de Cluny, ont été construits à la fin du 1er siècle ou au début du 2e siècle sur la rive gauche de la Seine. Ces vestiges sont parmi les plus importants conservés en dehors de l'aire méditerranéenne.

Le «Palais des Thermes» est acheté en 1340 par l'abbé de Cluny au nom de son ordre. Les abbés de Cluny construisent alors leur hôtel contre les Thermes. Puis ils construisent l'Hôtel de Cluny actuel vers 1500.



# Comprendre le froid

La conquête du froid est une aventure extraordinaire.

**P**endant des siècles, le froid est resté un mystère inexplicable. Nul ne savait ce que c'était, ni comment le domestiquer.

Pourtant le froid a révolutionné notre façon de vivre et de travailler. Imaginez des maisons et des supermarchés sans réfrigérateurs ni produits surgelés.

Des gratte-ciels sans climatisation.

Des hôpitaux sans oxygène liquide.

La technologie du froid nous semble accessoire. C'est pourtant elle qui nous a permis d'explorer le cosmos comme les profondeurs de notre cerveau.

# Qu'est-ce-que le Froid ?

Le froid extrême a toujours occupé une place à part dans l'imaginaire collectif. Pendant des milliers d'années il est apparu comme une force maléfique associée à la mort et à l'obscurité.

Était-ce une substance, un processus ou un état particulier de la matière ?

Robert Boyle (1660 env. Angleterre) a fait toutes sortes d'expériences

sur le froid afin de comprendre ce que c'était.

Il était intrigué par la façon dont l'eau se dilatait quand l'eau se transformait en glace. Il voulait savoir si cette augmentation de volume s'accompagnait d'une augmentation de masse.

Il a rempli un tonneau d'une bonne quantité d'eau et l'a pesé.



**P**uis l'a placé dehors dans la neige alors que l'Angleterre à cette époque subissait un froid glaciaire et l'a laissé geler toute la nuit. Le lendemain quand il a pesé à nouveau le baril, il a constaté que son poids était resté inchangé.



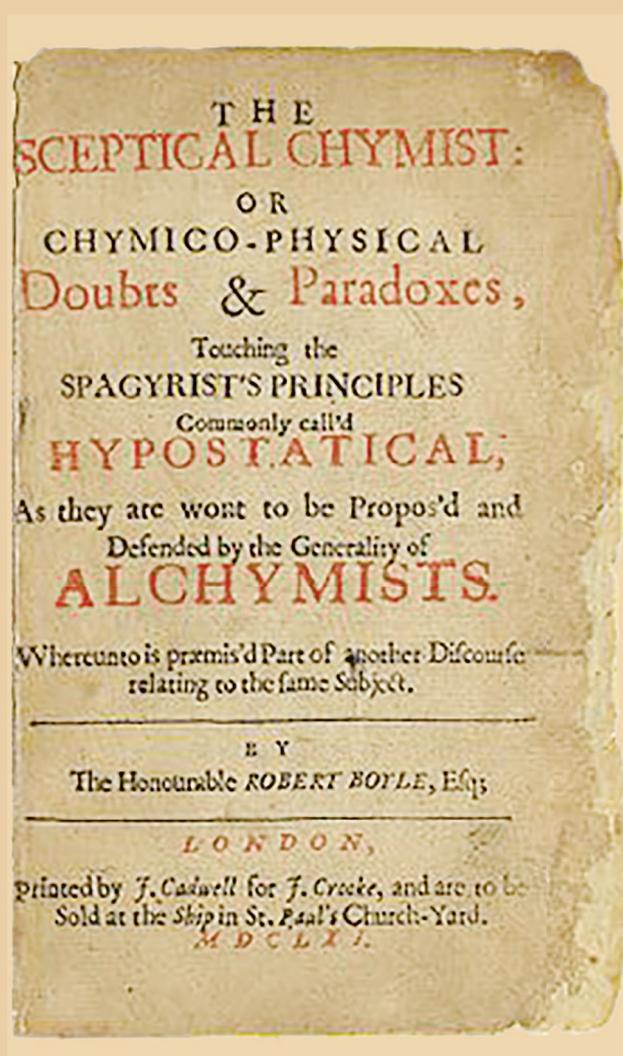
Il est donc devenu évident pour lui que les particules d'eau s'éloignent les unes des autres. Voilà ce qui explique la dilatation.

D'autres expériences lui ont permis de dire que les particules d'une substance se dilatent, donc prennent plus de place quand elles sont chaudes. Et ces particules se rétractent quand elles sont froides.

Il en a donc conclu que la chaleur est une forme de mouvement d'un type particulier et qu'en se refroidissant les corps sont animés de mouvements de plus en plus faibles.

Pour explorer plus loin le domaine du froid il manque à Boyle un instrument : un thermomètre permettant une mesure précise.





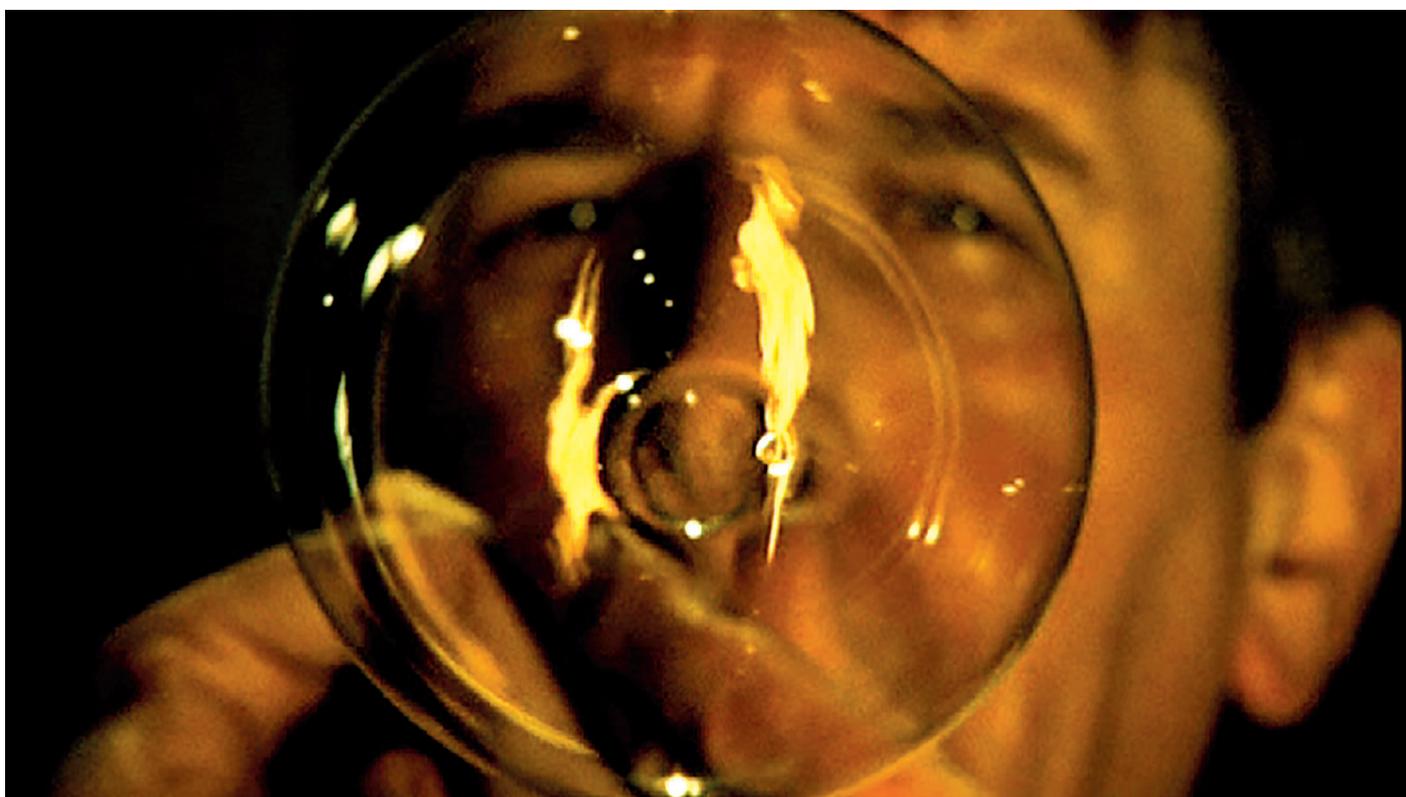
# La fabrication du thermomètre

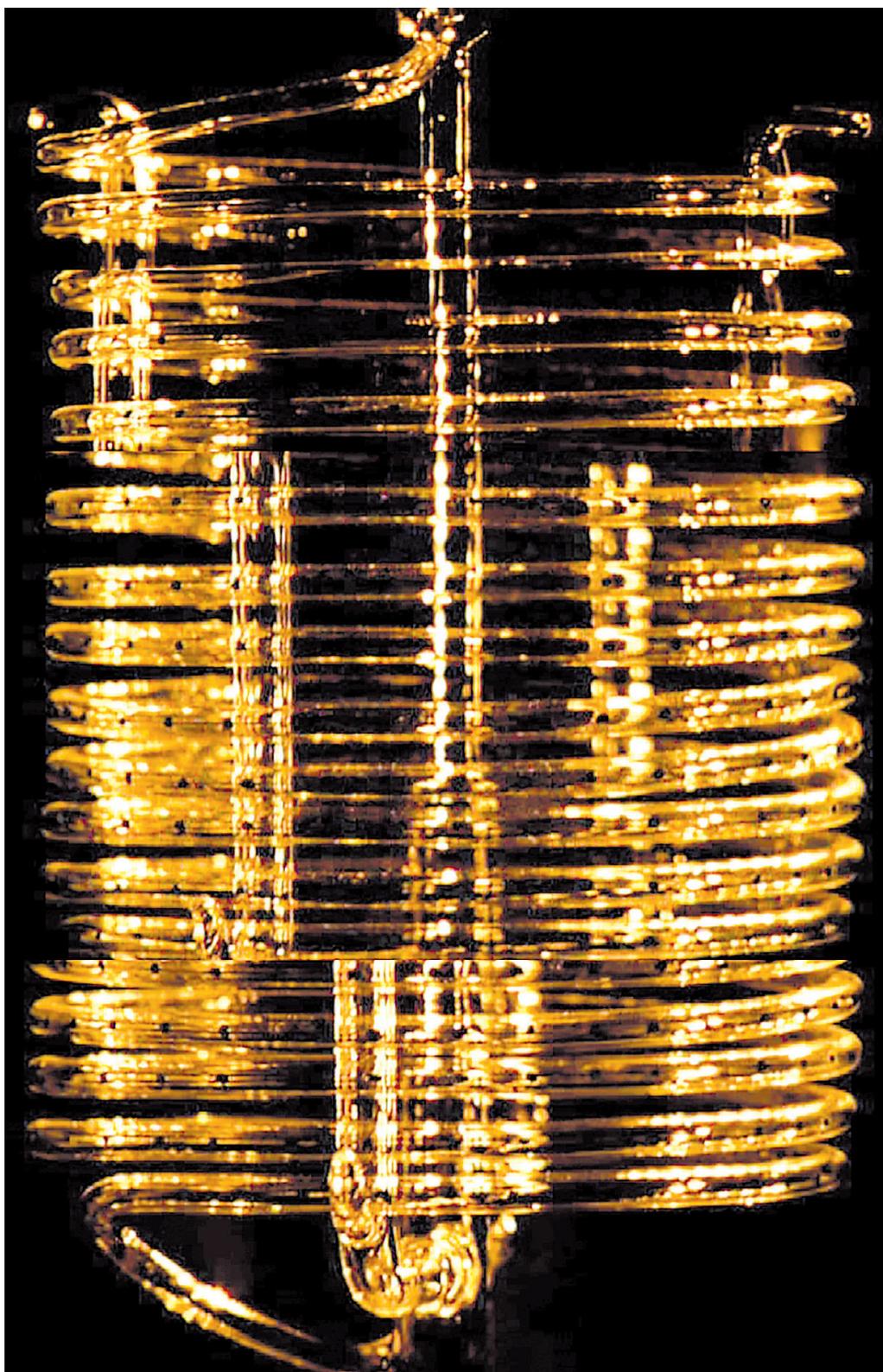
**C**e n'est qu'au milieu du 17<sup>e</sup> siècle que les souffleurs de verre de Florence commencent à fabriquer des thermomètres calibrés. Il devient alors possible de mesurer en degrés le chaud et le froid.

Au lieu du mercure on utilise de l'alcool bien plus léger.

Les thermomètres mesurent plusieurs mètres de long et sont souvent enroulés en forme de spirale.

Mais un gros problème subsiste encore : l'absence d'une échelle de température universelle.



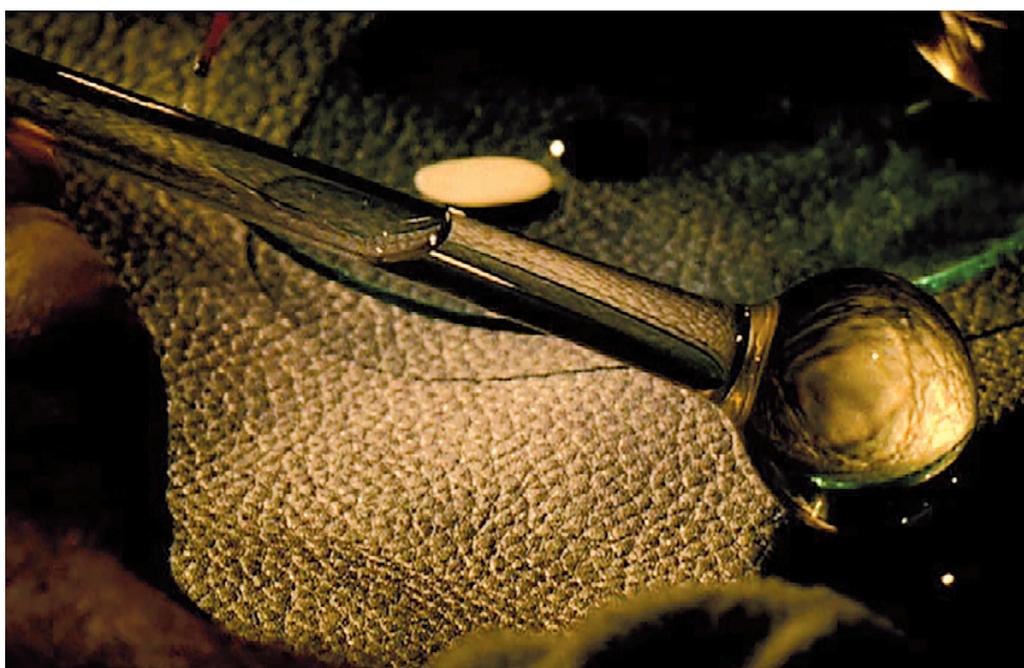


Il y a différentes manières d'attribuer des nombres aux divers degrés de chaud et de froid.

Et ceux qui fabriquaient les thermomètres n'arrivaient pas à s'entendre.

Quelqu'un à Florence en fabriquait un type. Quelqu'un d'autre à Londres en fabriquait un autre et ils n'avaient pas tous la même échelle.

C'était difficile de standardiser les thermomètres.



# Une échelle de température

Imaginez que vous voulez fabriquer une échelle de température. La solution la plus évidente comme le savaient les fabricants d'instrument, et les expérimentateurs du 17<sup>e</sup> et 18<sup>e</sup> siècle, c'est de trouver dans la nature une chose dont

vous êtes sûr qu'elle a toujours la même température et d'en faire votre point fixe. Une meilleure stratégie encore est de trouver deux de ces choses.

De façon à avoir un point fixe inférieur et un point fixe supérieur.



**P**uis diviser la distance entre ces deux points en cent petites parties. Le problème était de trouver un phénomène dont on pensait que la température était fixe.

Pour le point fixe inférieur, on pouvait choisir la température de la glace juste au moment où elle fond.



**P**our le point fixe supérieur, Isaac Newton (Angleterre) a travaillé dur pour établir une «Echelle de chaleur».

Il a déterminé par exemple la température qu'on arrivait tout juste à supporter quand on plongeait sa main dans l'eau chaude.



## Une échelle de température

Où la température de l'homme prise sous l'aisselle.

La température du sang.

La température de la cire juste quand elle fond.

Daniel Fahrenheit en Allemagne et René de Réaumur en France ont travaillé aussi sur ce sujet.

L'échelle de température la plus simple est conçue par l'astronome suédois Anders Celsius en 1742.

Il la divise en cent parties et c'est elle qui reste la plus couramment utilisée de nos jours.



L'originalité de cette échelle est qu'elle était inversée. Il avait attribué au point d'ébullition de l'eau la valeur zéro. Et au point de congélation la valeur cent.

C'est un petit mystère non élucidé dans l'histoire du thermomètre.

Pourquoi a-t-il gradué de cette façon ?

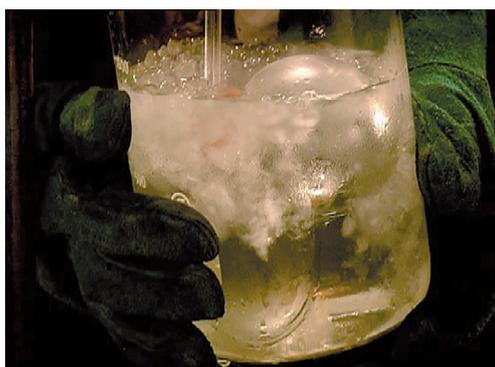
C'est le président de l'académie suédoise des sciences qui après quelques années a déclaré que c'était aberrant, qu'il fallait inverser les deux points pour obtenir ce que nous appelons aujourd'hui l'échelle Celsius.



# Relation pression/température

Il y a une question que personne ne pense à poser :

Jusqu'où peut-on descendre ?

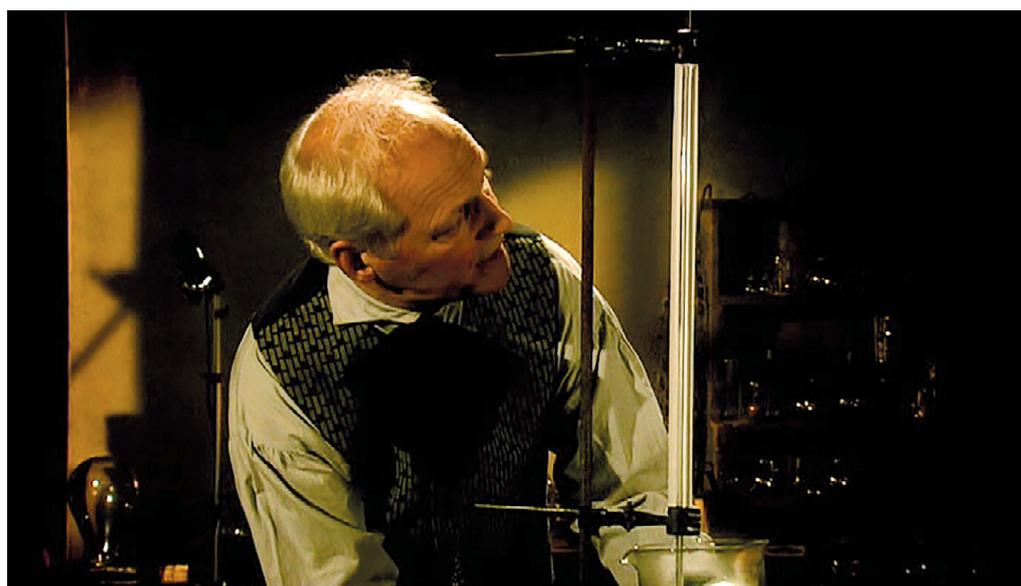


Y-a-t-il une limite inférieure absolue?

L'idée qu'une limite puisse exister va marquer un tournant dans l'histoire du froid.

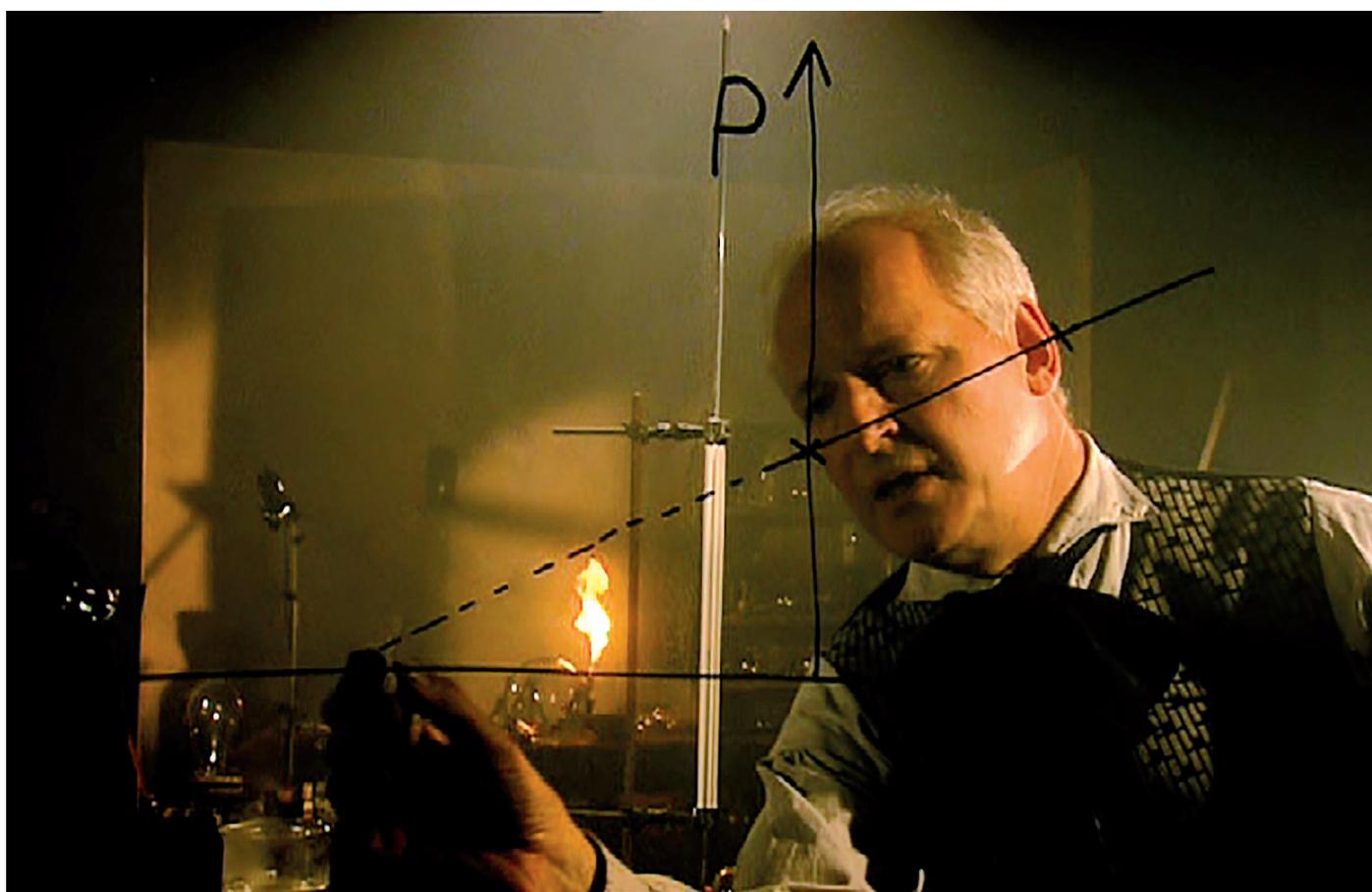
Tout a commencé avec le physicien français Guillaume Amonton. Il faisait des expériences où il chauffait et refroidissait des volumes d'air pour observer leur dilatation et leur contraction.

Il a remarqué que lorsqu'on refroidit un volume d'air, la pression diminue.



**E**t il s'est demandé ce qui se passerait s'il continuait à le refroidir. En étudiant la température par rapport à la pression, Amonton constate que quand la température diminue, la pression en fait

autant. Ce qui lui donne une idée extraordinaire : Que se passerait-il si on prolonge la ligne jusqu'à ce que la pression soit égale à zéro ?



Et c'est la première fois dans l'histoire qu'est apparue l'idée d'un zéro absolu.

C'était une idée révolutionnaire.

Dans la partie supérieure, la température peut monter jusqu'à l'infini.

Mais dans la partie inférieure, on pouvait calculer où se trouvait ce zéro. Amonton n'a pas fait ce calcul, mais d'autres l'ont fait plus tard. Et ils ont obtenu une valeur qui n'était pas très éloignée de la valeur moderne : environ moins 273°C.

# Lavoisier et Rumford

**S**avoir ce qui se passe quand on chauffe ou refroidit une substance suscite de vives polémiques.

L'idée que le refroidissement est dû au ralentissement des particules va tomber en défaveur.

A la fin du 18<sup>e</sup> siècle, le grand chimiste Antoine Lavoisier va lancer la théorie du «Calorique».



Lavoisier est un riche aristocrate qui finance lui-même ses recherches. Il fait même réaliser son portrait par le célèbre peintre David.

Il réalise des expériences générant de la chaleur (incluant parfois des animaux) qu'il mesurera avec son «calorimètre».

Un homme est convaincu que Lavoisier se trompe. C'est le Comte Rumford. Né en Amérique, il travaille pour les anglais pendant la révolution américaine.

Puis il devient ensuite ministre de l'Electeur de Bavière.

Parmi ses responsabilités, il est chargé des manufactures d'armes. Et c'est là dans les années 1790 qu'il remarque que la friction, lors du forage des canons, génère beaucoup de chaleur. Il décide de faire des expériences pour la mesurer.



Pendant la Terreur, au plus fort de la Révolution, Lavoisier est arrêté puis guillotiné. Non à cause de ses recherches scientifiques mais parce qu'il faisait partie des Fermiers généraux chargés de collecter les impôts.

A la suite de son exécution, sa femme quitte la France et rencontre

Rumford quand celui-ci s'installe en Europe.

Il est étonnant de noter que la veuve de Lavoisier a épousé l'adversaire scientifique de son mari.

Rumford a créé la première soupe populaire et fonde aussi la Royale Institution de Londres qui encourage les recherches scientifiques.

# Michaël Faraday

**E**n 1823, Michael Faraday, un jeune et brillant savant qui deviendra célèbre pour ses travaux sur l'électricité et le magnétisme, réalise par hasard une expérience

sur des cristaux de chlore. Il chauffe ces cristaux dans un tube scellé plongé à l'autre extrémité dans un bain de glace.

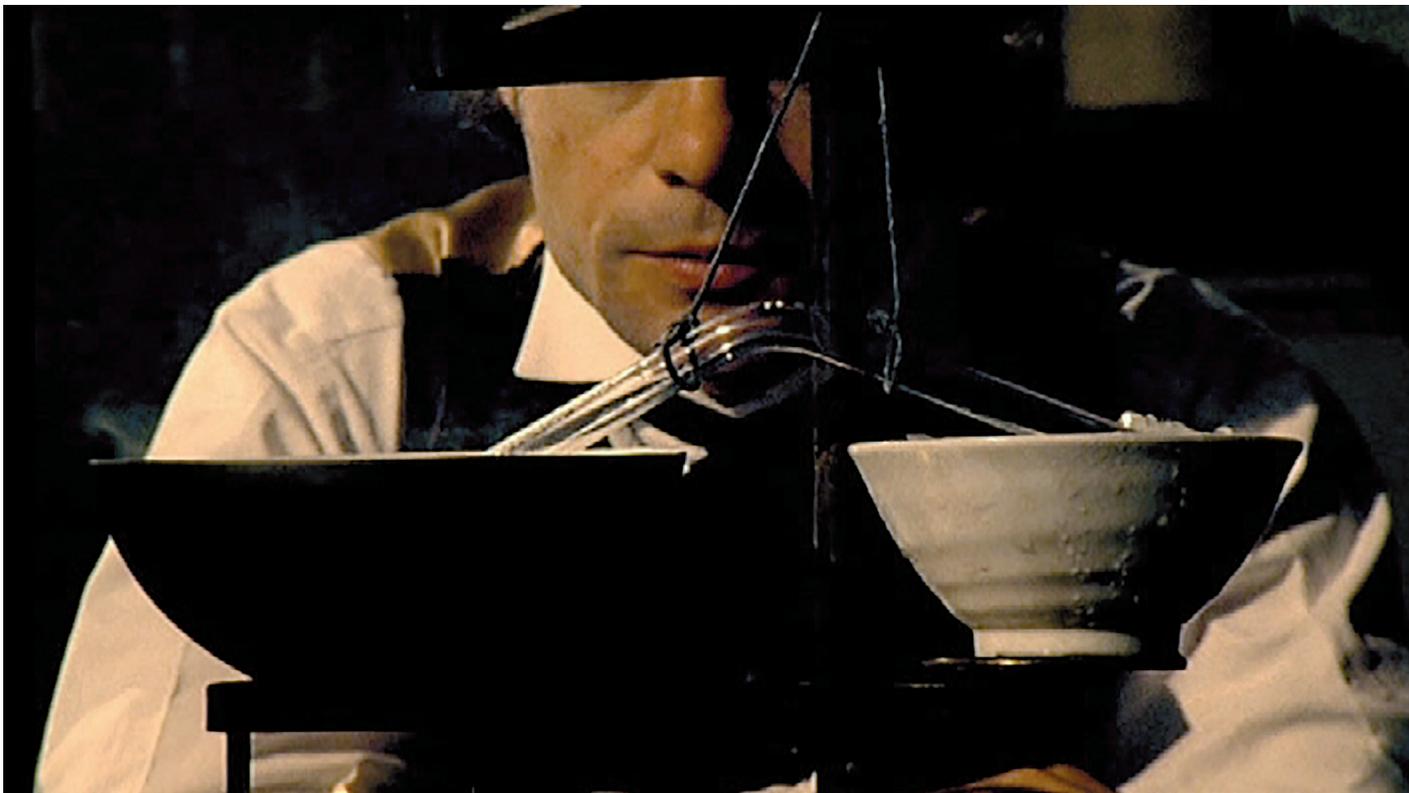


Rapidement il voit se dégager du chlore gazeux de couleur jaune et du côté froid se liquéfier une substance huileuse.



L'augmentation de la pression a provoqué la liquéfaction du gaz. Par la suite il utilise la même technique pour liquéfier de l'ammoniac. Il constate que lorsqu'on libère la pression, le liquide s'évapore et la

température baisse fortement. Il prédit qu'un jour ce phénomène de refroidissement sera peut-être utile pour conserver des substances animales et végétales à des fins alimentaires.



L'idée d'utiliser l'ammoniac comme réfrigérant est très en avance sur son temps.

Mais Faraday n'est guère intéressé par l'exploitation commerciale.

# Exploitation du froid naturel



# Un entrepreneur américain est sur le point de commercialiser le froid

**F**rédéric Tudor, lors d'un dîner avec son frère, discute du moyen de gagner un peu d'argent dans la ferme de leur père. Les champs recouverts de neige et de cailloux ne permettaient pas de trouver des clients. Alors il a pensé à utiliser la

glace provenant du lac alors que certaines régions en étaient dépourvues. L'idée paraissait folle mais elle s'est avérée payante. Tudor commence à collecter de la glace sur les étangs de la Nouvelle-Angleterre.





Il se rend vite compte qu'il a besoin d'instruments spécialisés pour répondre à la demande.

Une équipe dégageait la glace d'un étang d'un hectare et demi en deux jours.

Le rêve de Tudor : «mettre la glace

à la portée de tous», ne se limite pas à la Nouvelle-Angleterre.

Il veut l'expédier dans des régions chaudes comme les Caraïbes et le sud des Etats-Unis.

Tudor atteint même l'Inde et la Chine.





*Le froid naturel*

**R**apidement surnommé le roi de la glace, Tudor commence à utiliser des chevaux et des armées d'ouvriers pour exploiter des volumes de plus en plus importants

et faire face à une demande croissante. Dans la seconde moitié du 19<sup>e</sup> siècle, l'industrie de la glace emploie des dizaines de milliers de personnes.

*Chapitre 1*



**T**udor est devenu le plus gros distributeur de glace et l'un des premiers millionnaires américains. Un seul de ses bateaux partant pour les Caraïbes, lui rapportait six mille dollars. A une époque où les

gens gagnaient deux ou trois cent dollars par an. Gagner des milliers de dollars paraissait inimaginable. Ce qui a débuté comme une petite entreprise familiale, devient un commerce mondial.



*Le froid naturel*



*Chapitre 1*



# Le froid artificiel

**D**ans les années 1830, la révolution industrielle bat son plein. Mais pour que puisse s'accomplir l'étape suivante dans la conquête

du froid, il faudra attendre l'apparition des machines à vapeur et le principe de conversion de la chaleur en mouvement.



**L**e premier à s'attaquer au problème est un jeune ingénieur français : Sadi Carnot

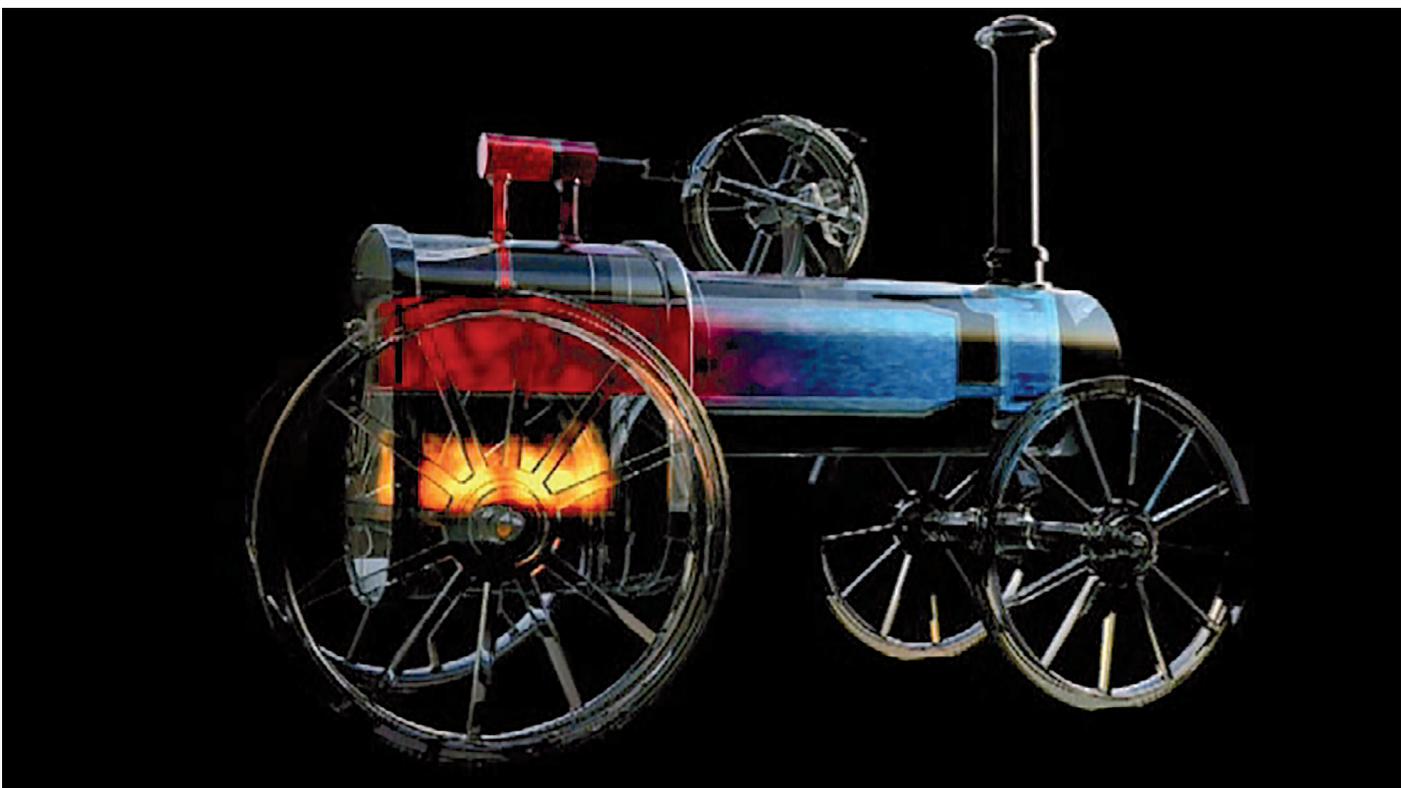
**C**'est ensuite que seront mises au point les machines capables de produire une réfrigération artificielle.

**A**u début des années 1800 le problème économique le plus important d'Europe était : « Combien de travail utile pouvez vous tirer d'une certaine quantité de chaleur ? ».



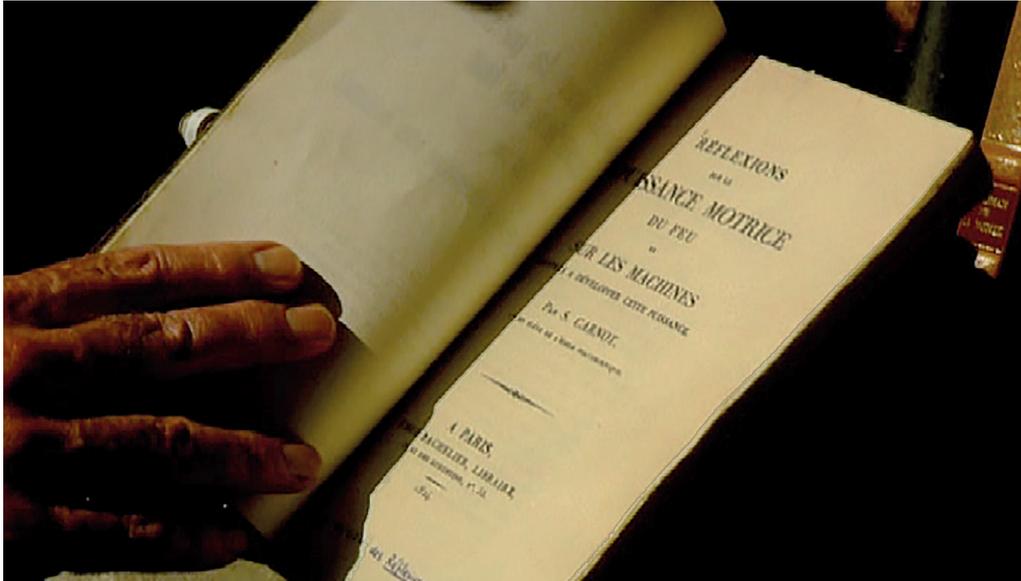
**P**our Sadi Carnot, améliorer l'efficacité de la machine à vapeur pourrait aider l'économie française après la défaite de Waterloo.

**A**u Conservatoire des Arts et Métiers, il commence à étudier comment une machine à vapeur transforme la chaleur en travail mécanique.

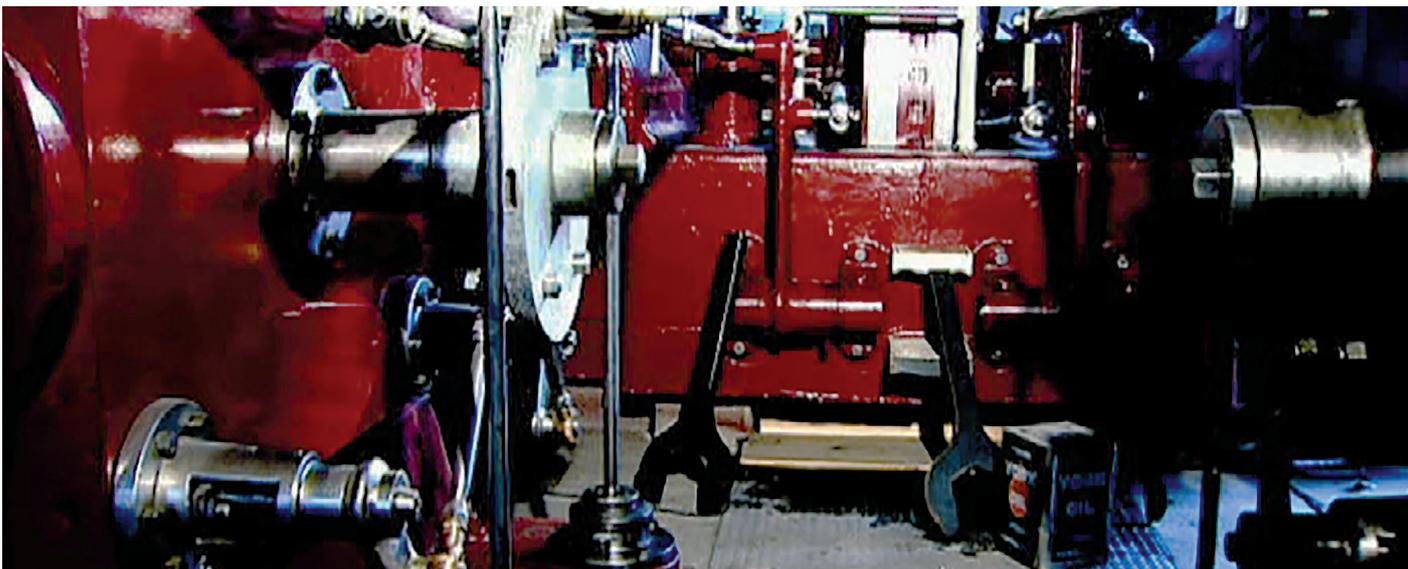


Sadi Carnot

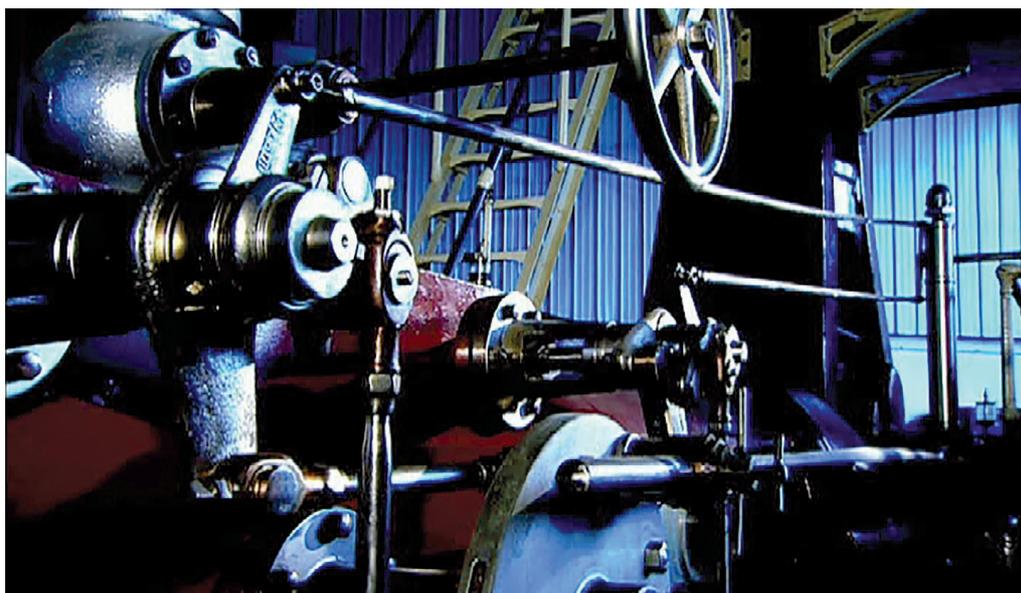
Carnot expose ses idées dans un livre écrit pour le grand public.



William Thomson (futur Lord Kelvin) s'inspirera du fameux théorème de Carnot et recherchera à Paris auprès des bouquinistes en bord de Seine, une version de ce livre.



Cette nouvelle conception de l'énergie ouvre la voie à la production artificielle du froid.



En 1862, Ferdinand Carré, présente à l'exposition universelle de Londres, une machine qui fabriquait, presque en continu, des cubes de glace.

Dans les années 1880, de nombreuses villes américaines possèdent des fabriques qui utilisent l'ammoniac comme fluide réfrigérant et produisent 150 tonnes de glace par jour.



Pour la première fois, la glace artificielle menace le commerce de la glace naturelle lancée par Frédéric Tudor.

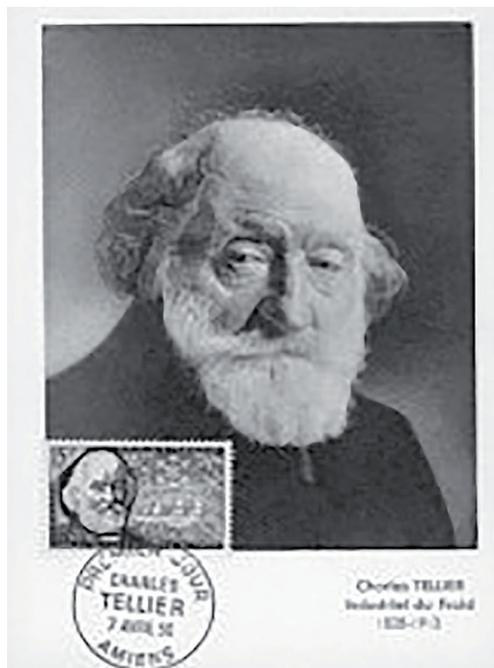
L'appétit des américains pour la glace est insatiable. Abattoirs, brasseries, entrepôts de nourriture en font une importante consommation.



La viande refroidie par des blocs de glace peut voyager de New York à Los Angeles.



**C**harles Tellier crée à Auteuil en 1869, la première usine frigorifique dans le monde pour la conservation de la viande et des denrées alimentaires par le froid artificiel.



**M**is au défi par le Baron Haussmann qui lui dit : «La glace manque à Paris, vous devriez vous occuper de la fabriquer artificiellement».

Deux ans plus tard, il crée sa première machine frigorifique à circulation de gaz ammoniac liquéfié et l'installe dans la fabrique du maître-chocolatier Meunier.

Il étend sa technique au transport de la viande à travers l'Atlantique, il équipe un navire d'une chambre froide qui transportera sa cargaison jusqu'à Buenos-Aires. C'est en octobre 1908 qu'il reçoit le titre de «Père du froid».

**L**es fruits et légumes deviennent disponibles hors saison.





Le régime alimentaire urbain s'améliore, faisant des citadins américains, les gens les mieux nourris au monde.



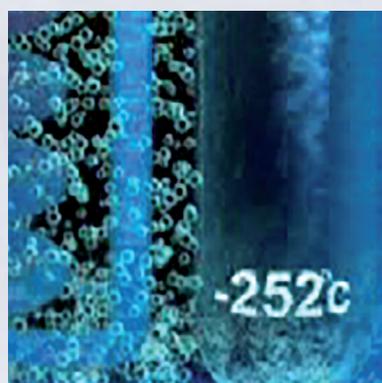
Et pour qu'on puisse garder au frais chez soi, le livreur vient recharger les glacières lors de sa tournée hebdomadaire.



À Paris, on pouvait s'approvisionner en glace dans la rue dont le nom en est témoin : en effet, à l'époque, on remplissait un grand puit appelé Glacière de deux cents tombereaux de glace.



# La course au zéro absolu

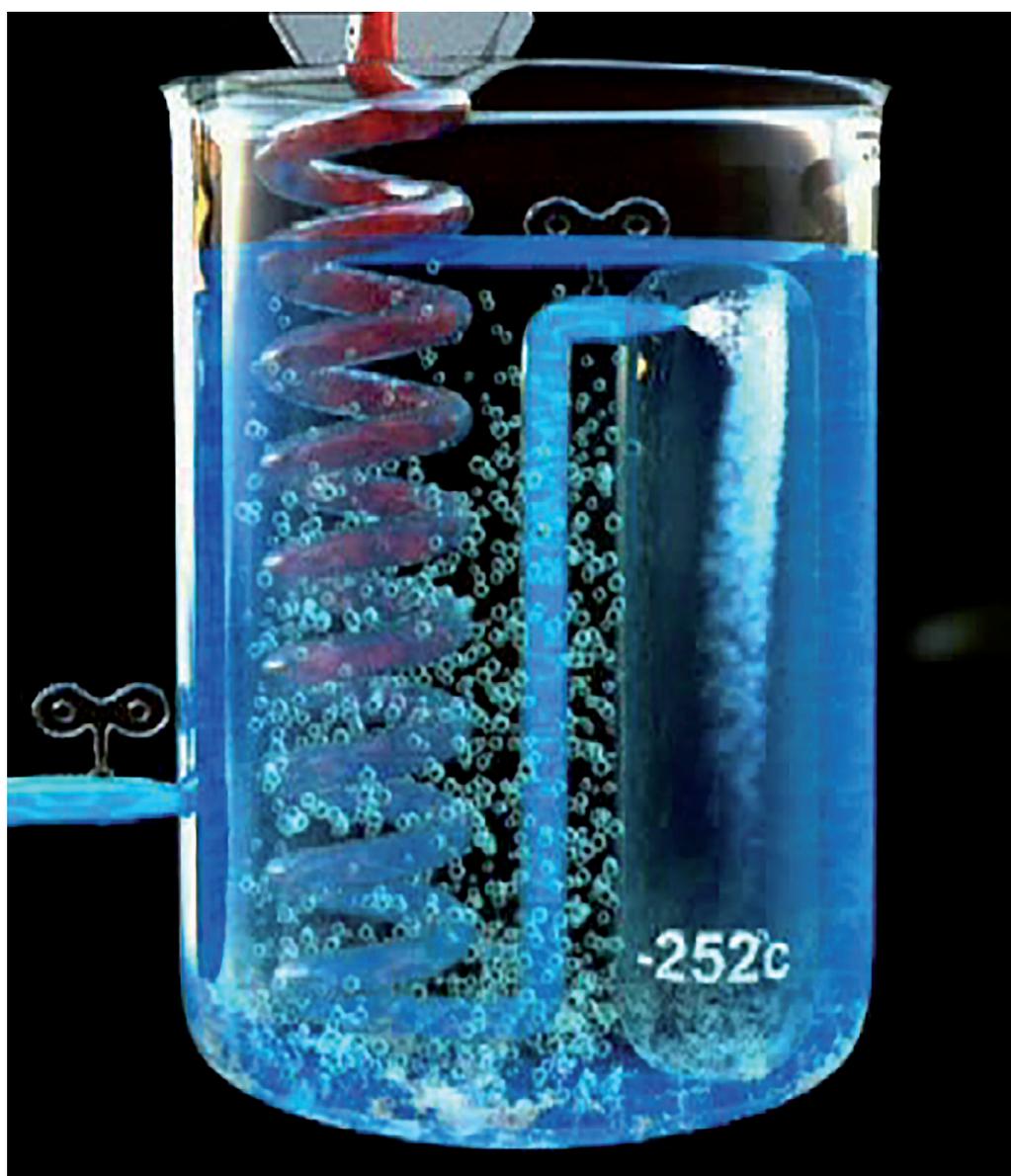


**L**ouis-Paul Cailletet, directeur d'une petite usine de métallurgie à Châtillon-sur-Seine, est le premier à liquéfier l'oxygène.

Une course effrénée à travers toute l'Europe se crée pour celui qui

atteindra en premier les limites du froid vers le zéro absolu.

A la fin du 19e siècle, les grand explorateurs pénètrent de plus en plus profondément dans les zones les plus froides de la terre : les pôles nord et sud.



Cette rivalité pour l'exploration des pôles, va de pair avec une compétition aussi intense pour atteindre le point le plus froid de l'univers : le zéro absolu. Un point dépourvu de toute forme d'énergie thermique.

En degrés Celsius, il se situe vers moins 273°C.

Sir James Dewar en Angleterre, Heike Kamerlingh Onnes à Leyde au Pays Bas, seront les fers de lance de cette course.





# Le froid domestique et refroidissement de l'air



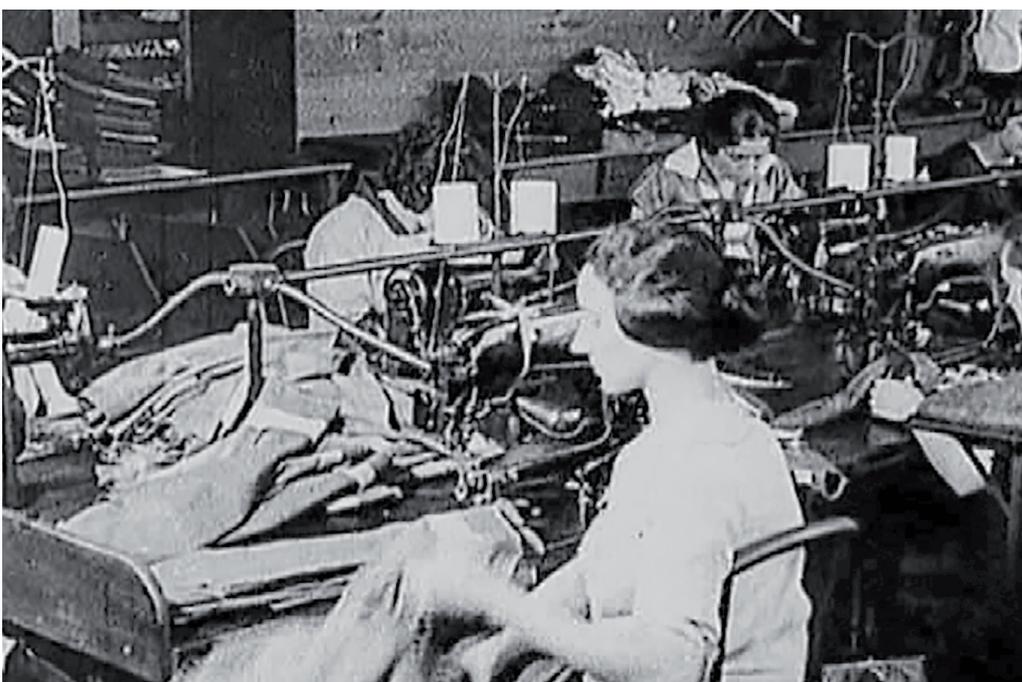
**A** l'aube du 20<sup>e</sup> siècle, les cinémas sont les premiers bâtiments à utiliser l'air conditionné.

Et dans les années 1920, les spectateurs s'y pressent en été pour se mettre à l'abri de la chaleur



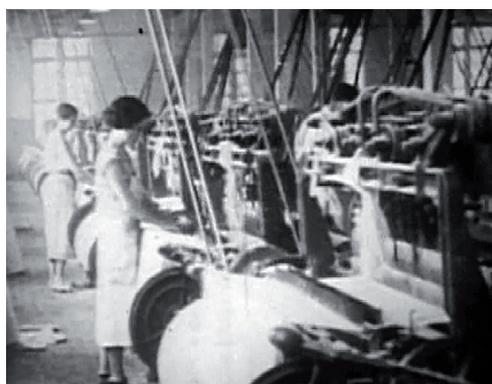
La climatisation permet à un air frais et sec de circuler. Elle devient de plus en plus courante au travail.

Surtout dans le sud des Etats-Unis où le travail dans les usines de textile et de tabac sont presque insupportables sans air conditionné.



La climatisation permettait d'avoir un travail de meilleure qualité en empêchant la rupture des fils trop secs ou en contrôlant l'humidité des cigares et la poussière.

Dans les années 1950, la plupart des foyers sont équipés d'unités indépendantes, faciles à poser. C'est plus qu'un appareil électroménager, c'est un nouveau mode de vie.

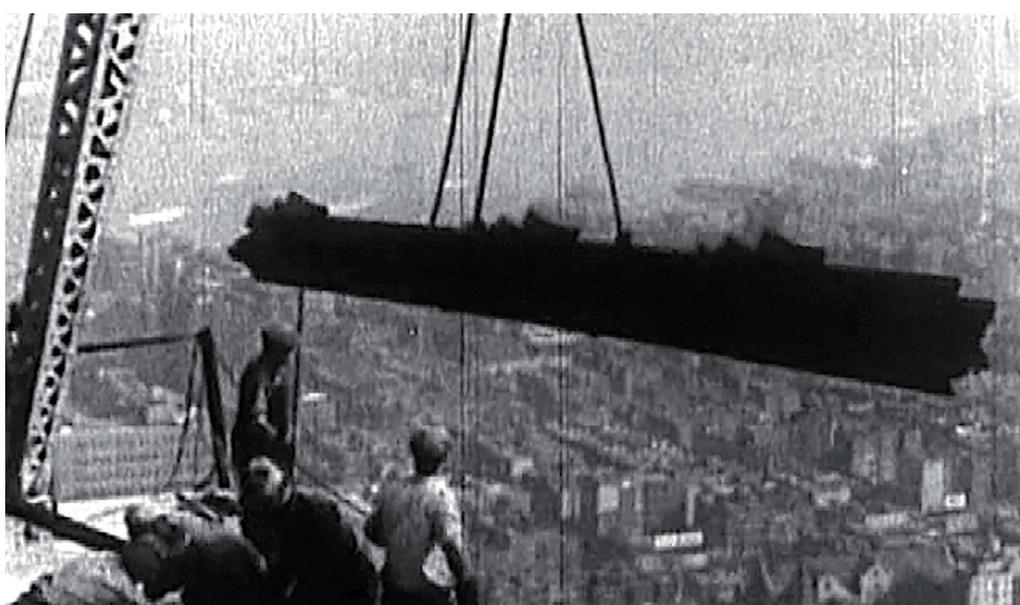


La maîtrise du froid transforme la vie urbaine. La réfrigération permet aux habitants de s'éloigner des centres d'approvisionnement.

La climatisation permet aux villes de gagner en hauteur. Au delà de

vingt étages, la force des vents oblige à garder les fenêtres fermées.

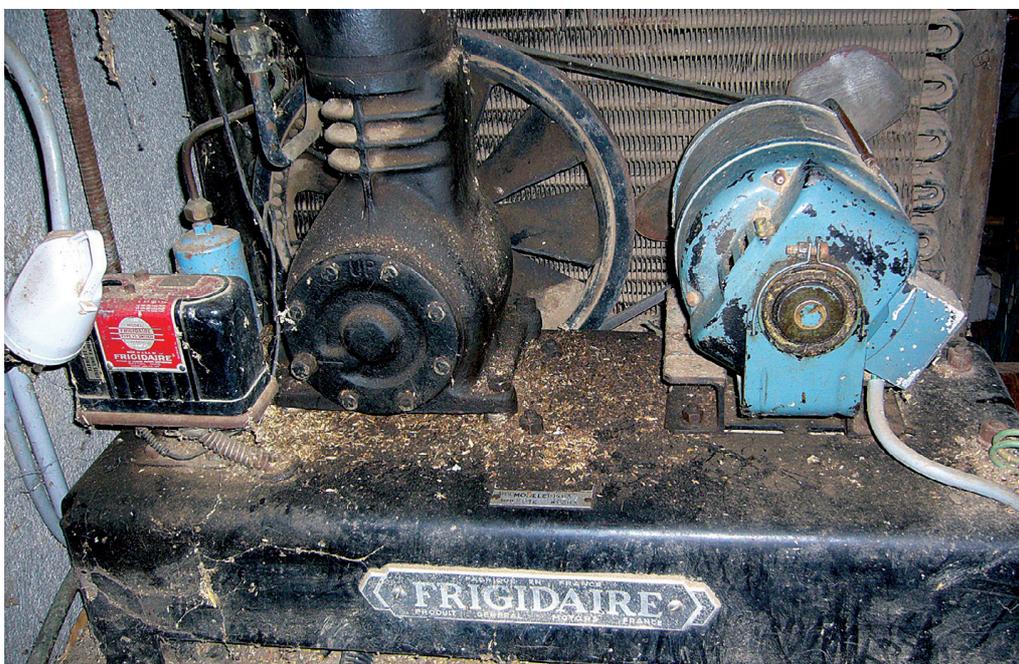
Avec les climatiseurs il devient possible de construire des immeubles de cent étages.



**V**oici un exemple de groupe de froid utilisé pour une chambre froide encore en service aujourd'hui

dont la marque est passée dans le langage courant : FRIGIDAIRE.





D'un côté il y avait le moteur à vapeur et de l'autre le réfrigérateur. Deux grands symboles du 19<sup>e</sup> siècle

qui ont complètement transformé la société et l'économie de la planète.





LYCEE TECHNIQUE REGIONAL  
RASPAIL

Frigoriste

Chapitre 2

# Le métier de Frigoriste



# Etudes à Raspail



L'adresse internet du lycée Raspail : [WWW.ldmraspail.fr](http://WWW.ldmraspail.fr)

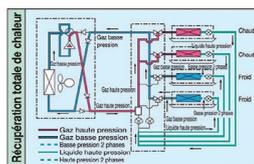
## Matières enseignées

Pour faire un Bac Pro TFCA au lycée Raspail, il faut s'inscrire par le dispositif PASS PRO qui démarre

généralement au mois de février dans les collèges. La filière de l'apprentissage donne aussi une solide formation.

# Bac Pro TFCA

## Technicien du froid et du conditionnement de l'Air



**L**es matières d'atelier se répartissent dans la semaine comme suit : environ 12h d'atelier pour apprendre la mise en service des groupes de froid, le façonnage et montage de systèmes frigorifiques et l'électricité appliquée au groupe de froid.

Les autres matières permettent de renforcer le niveau en mathématique, français histoire-géographie, anglais, physique-chimie, sport, arts appliqués, économie-gestion afin d'acquérir une culture générale et de mieux s'intégrer en entreprise.

La plupart des matières sont évaluées en Contrôle Continu en cours de Formation.

Le diplôme BAC Pro valide des connaissances acquises au lycée et en entreprise.

Durant les trois ans d'étude, il y aura chaque année une période d'environ 8 semaines à effectuer en entreprise de la spécialité.

La note obtenue en entreprise participe au résultat du Bac.

L'outillage qui servira à maîtriser le façonnage :

## Outillage à maîtriser



On apprend à monter et mettre en service des systèmes simples comme les monoblocs,

les sous-systèmes ; ou une vitrine réfrigérée si une intervention est nécessaire.



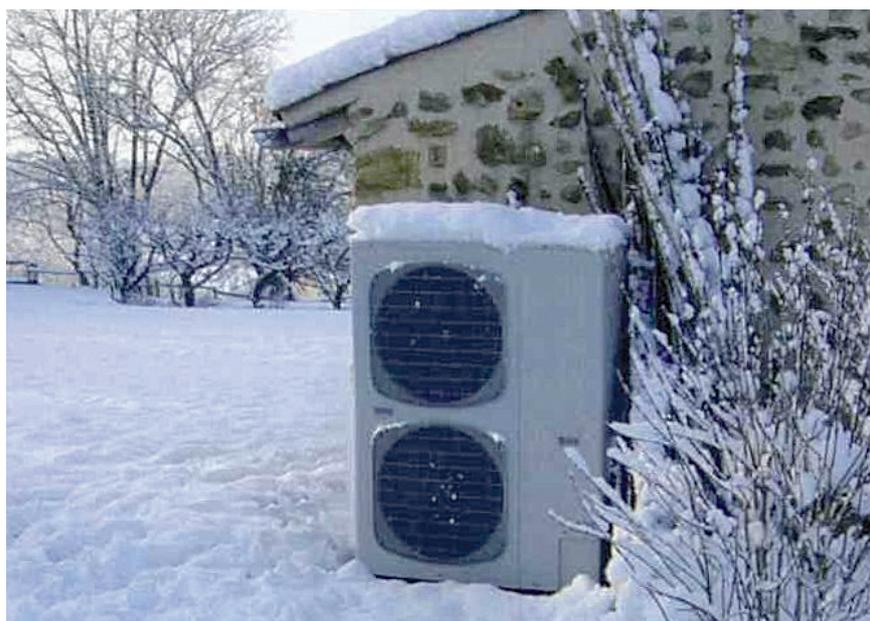
La partie climatisation centralisée n'est pas oubliée. Les élèves apprennent à régler les

paramètres et veillent à assurer les puissances nécessaires au bon fonctionnement.



Les systèmes de chauffage par pompes à chaleur pour maison individuelle. La pompe à chaleur est un système dans l'air du temps: son utilisation émet peu de gaz à effet de serre. Attention, tous les systèmes ne sont pas égaux ! De plus, ces PAC doivent avoir un coefficient de performance suffisant... être bien dimensionnées et bien installées !

Les PAC prennent de l'essor grâce à leur rendement extraordinaire.



Les élèves apprennent aussi le fonctionnement et les mesures sur du matériel dernier cri comme le VRV :



**Le Bac Pro TFCA  
et ensuite...**

Voici un synoptique des formations au lycée Raspail. Vous voyez que si vous souhaitez continuer après le Bac Pro, il y a plusieurs solutions.

Baccalauréat S préparé dans  
un autre établissement

Voie Technologique en 2 ans,  
à l'issue d'une classe de Seconde

**Baccalauréat Technologique STI2D**  
*Sciences et Technologies de l'Industrie et  
du Développement Durable*. 2 options :  
Option SIN : Systèmes Informatiques et Numériques  
Option EE : Energie et Environnement

Première STI2D

Terminale STI2D

L'Option facultative **Cinéma** est proposée au lycée

Voie Professionnelle en 3 ans,  
à l'issue de la classe de Troisième

**Baccalauréat Professionnel TMSEC**  
*Technicien en Maintenance des Systèmes  
Energétiques et Climatiques*

Seconde Pro TMSEC

Première Pro TMSEC

Terminale Pro TMSEC

**Baccalauréat Professionnel TISEC**  
*Technicien en Installation des Systèmes  
Energétiques et Climatiques*

Seconde Pro TISEC

Première Pro TISEC

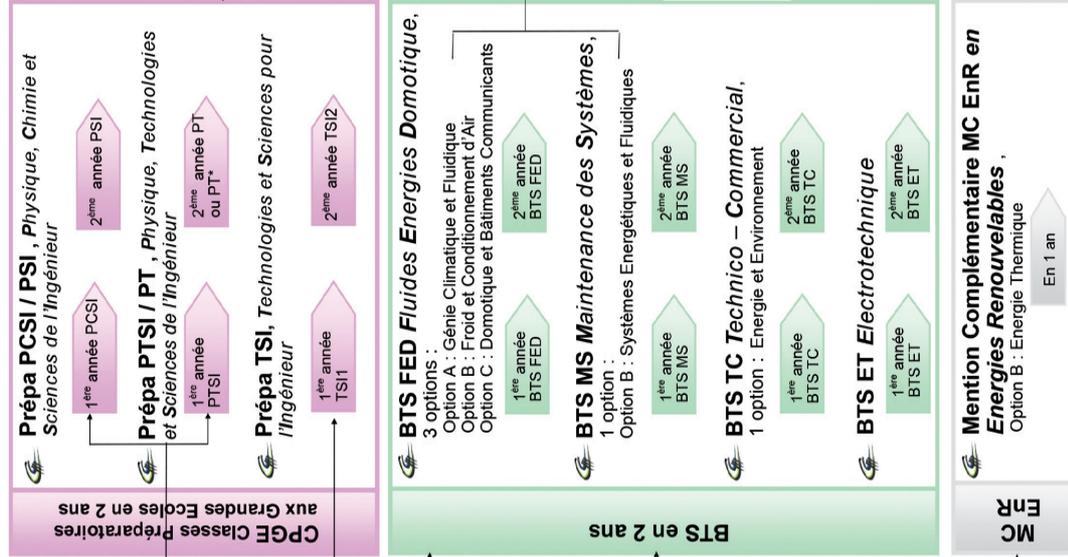
Terminale Pro TISEC

**Baccalauréat Professionnel TFCA**  
*Technicien en Froid et Climatisation de l'Air*

Seconde Pro TFCA

Première Pro TFCA

Terminale Pro TFCA



**LYCEE DES METIERS DE  
L'ENERGIE ET DE  
L'ENVIRONNEMENT**  
<http://www.ldmraspail.fr>

Vers Grandes Ecoles et Ecoles  
d'Ingénieurs



|               | En formation initiale | En formation continue | En formation continue en 1 an | En formation continue en contrat Pro |
|---------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| Bac Pro TMSEC |                       |                       |                               |                                      |
| Bac Pro TISEC |                       |                       |                               |                                      |
| Bac Pro TFCA  |                       |                       |                               |                                      |
| MC ER         |                       |                       |                               |                                      |
| Bac STI2D     |                       |                       |                               |                                      |
| BTS FED       |                       |                       |                               |                                      |
| BTS MS        |                       |                       |                               |                                      |
| BTS TC        |                       |                       |                               |                                      |
| BTS ET        |                       |                       |                               |                                      |
| CPGE          |                       |                       |                               |                                      |
| Licence SPI   |                       |                       |                               |                                      |

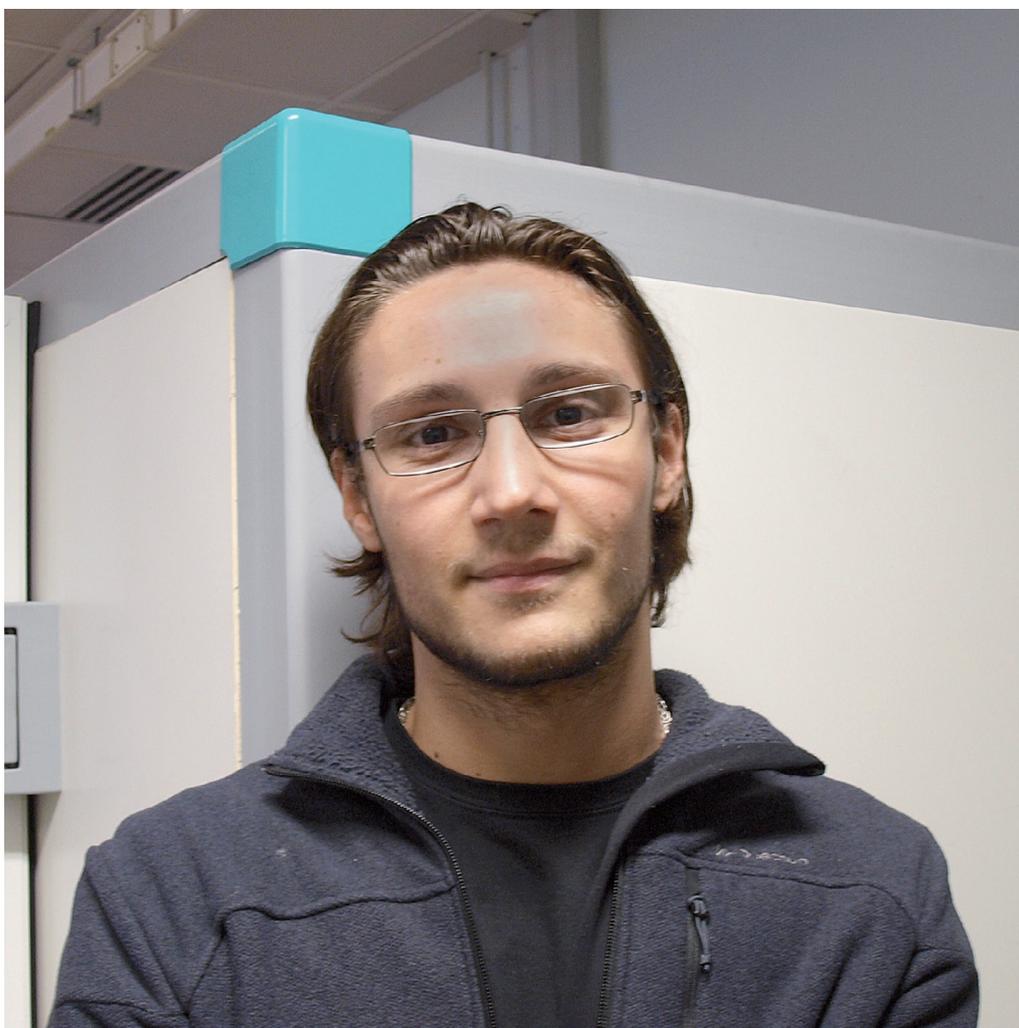
## Témoignages d'élève



**M**oi c'est Franklin Vain Kenhale. Je pense que c'est un super métier qui ouvre toutes les portes dans le bâtiment.

A l'heure actuelle, ce secteur ne connaît pas de chômage. Nous sommes comme des médecins mais dans le domaine du froid.

Nous arrivons chez des clients et sommes reçus comme des sauveurs. Ils sont stressés car leur machine est en panne et ils vont perdre les denrées, les clients, beaucoup d'argent. Nous réparons l'installation, le client est satisfait. Il vous paye bien.



**J**e m'appelle Marko Milenkovic, cela fait 5 ans que je suis au lycée Raspail. J'ai passé trois ans en Bac Pro TFCA. Puis j'ai continué en BTS en alternance en génie frigorifique.

**Question :** Que pensez-vous de ce métier puisque vous avez fait plusieurs périodes en entreprise ?

C'est un métier très très très intéressant parce qu'on touche à

tout. Par exemple on touche à l'aéroulque, l'hydraulique, la physique, l'électricité, le façonnage des tubes, l'acoustique. Il nous est arrivé de travailler sur des nuisances sonores.

C'est un métier complet, bien payé si on n'hésite pas à donner de son temps. Parfois les conditions sont difficiles mais je suis passionné par ce métier.



**J**e suis Nicolas Milenkovic. J'ai fait un Bac Pro TFCA au lycée Raspail et j'ai continué en BTS en alternance en génie frigorifique.

**Question :** Que pouvez-vous dire sur ce que vous avez vu en entreprise ?

C'est un métier que l'on a appris à Raspail et que l'on peut pratiquer en France comme à l'étranger. Le matériel est le même.

J'ai un collègue qui vient de partir à Nouméa en Nouvelle-Calédonie

pour monter le système de froid d'un Hypermarché. On travaille sur des gros chantiers comme Eiffage (La Défense) ou des petits chantiers comme les vitrines réfrigérées dans les supermarchés ou les chambres froides. Les camions frigorifiques aussi ont besoin de frigoristes pour la maintenance.

Dans les hôpitaux, il y a une méthode de travail particulière car les salles d'opérations doivent avoir un air sans bactéries.

La climatisation est très surveillée.

O n a eu aussi l'occasion de travailler bénévolement pour les Resto du Cœur à la Porte de la Chapelle. Ils avaient besoin de chambres froides pour la conservation des aliments avant la distribution.



G râce à l'accord du lycée Raspail et d'une entreprise de froid, ça m'a fait énormément plaisir de pouvoir aider les gens en difficulté et les SDF.

C 'est une filière qui m'a permis de m'intégrer dans la société. J'ai maintenant des compétences que je peux utiliser dans le travail ou pour aider maman quand le frigo est en panne.

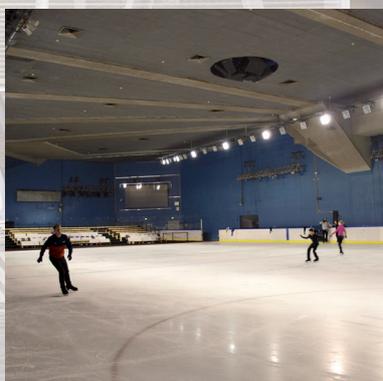




Frigoriste

Chapitre 3

# Sites importants



# La Bibliothèque nationale de France François- Mitterrand



Serge Mathé  
Chef de projets climatisation

## Quelle est votre fonction sur le site de la BnF ?

Je suis ingénieur en génie climatique, chef de projet.

Le travail consiste à :

- définir les besoins : rénovation, remplacement d'un équipement ou d'un groupe frigorifique, amélioration de la climatisation d'une partie du bâtiment
- identifier les solutions possibles et argumenter le choix de la solution retenue
- réaliser les calculs sur la BnF

qui est maître d'ouvrage (celui qui est propriétaire et qui paye) et maître d'œuvre (celui qui conçoit) ou travailler avec la maîtrise d'œuvre, pour les opérations plus importantes, quand la BnF est seulement maître d'ouvrage.

- rédiger le cahier des charges
- consulter et choisir l'entreprise chargée des travaux
- diriger les travaux jusqu'à la réception



## Quelle sont les puissances froid, chaud, électriques développées ?

Sur le site de Tolbiac, nous avons deux groupes de froid de type centrifuge de 5,6 MW froid chacun et deux groupes de froid de type à vis de 2,5 MW froid chacun lorsqu'il travaille en récupération de chaleur (production d'eau à 45 °C pour chauffer le bâtiment) soit un total de 16 Mégawatt froid.

Nous avons aussi deux petits groupes de Froid (250 et 400 KW pour produire de l'eau à 1°C et 4°C pour faire la déshumidification de l'air des magasins de conservation de l'audiovisuel et du papier.

Nous avons aussi une cinquantaine de Split pour des locaux techniques.

Lors des fortes chaleur (>30 °C) nous avons besoin d'une puissance froid < 8 MW.

Lors des grands froids (< -5 °C) nous avons besoin d'environ 5,5 MW chaud. Sur la saison de chauffage, 75 % de la chaleur consommée sont issus de la récupération par les GFR à vis.



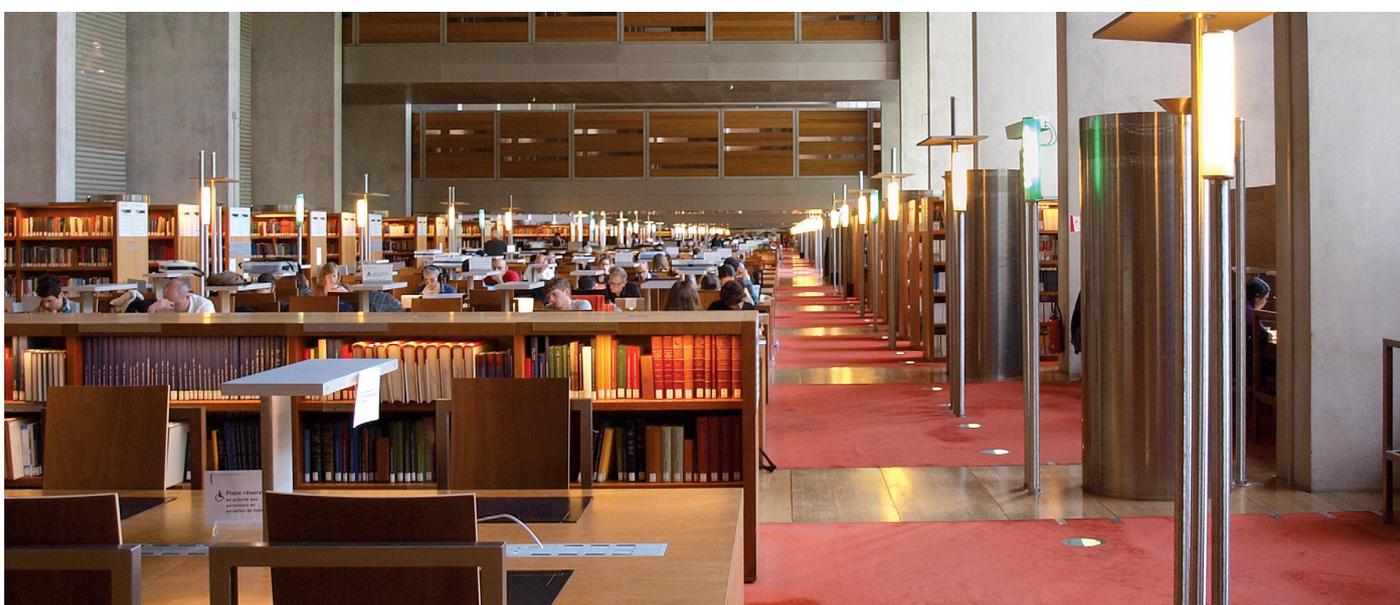
## De quelle façon la climatisation est importante pour ce site?

Un bâtiment comme celui de Tolbiac ne peut fonctionner que s'il est climatisé :

- les bureaux dans les tours sont vitrés à 100% et sont obligatoirement climatisés pour

maintenir le confort et la qualité de l'air ambiant

- les magasins de conservation des ouvrages imposent le contrôle de la température, de l'humidité et de la qualité de l'air



- les salles de lecture avec des grands volumes et une fréquentation importante imposent le contrôle du renouvellement

de l'air et le confort des lecteurs demande le contrôle des températures et de l'humidité.



### **Pensez-vous qu'un élève qui choisit la voie du Bac Pro TFCA fait le bon choix ?**

Le contrôle de la qualité de l'air : température, humidité, empoussièrément, pollution... se développe de plus en plus car cela a un impact soit sur les occupants, soit sur la conservation alimentaire ou d'équipements techniques (ordinateur, batterie...).

Tous les métiers qui travailleront sur ce thème seront donc en développement et de plus ces emplois de service sont non délocalisables.

Une des particularités de ces métiers et de notre pays est la possibilité de continuer sa formation pendant toute sa carrière professionnelle.

Je suis sorti du cursus scolaire avec un DUT, puis j'ai suivi des cours du soir au CNAM pour avoir l'équivalent d'un master 1 avant de faire un mémoire d'ingénieur par la filière IDPE (ingénieur diplômé par l'état).





## Si d'autres remarques vous semblent nécessaires, n'hésitez pas...

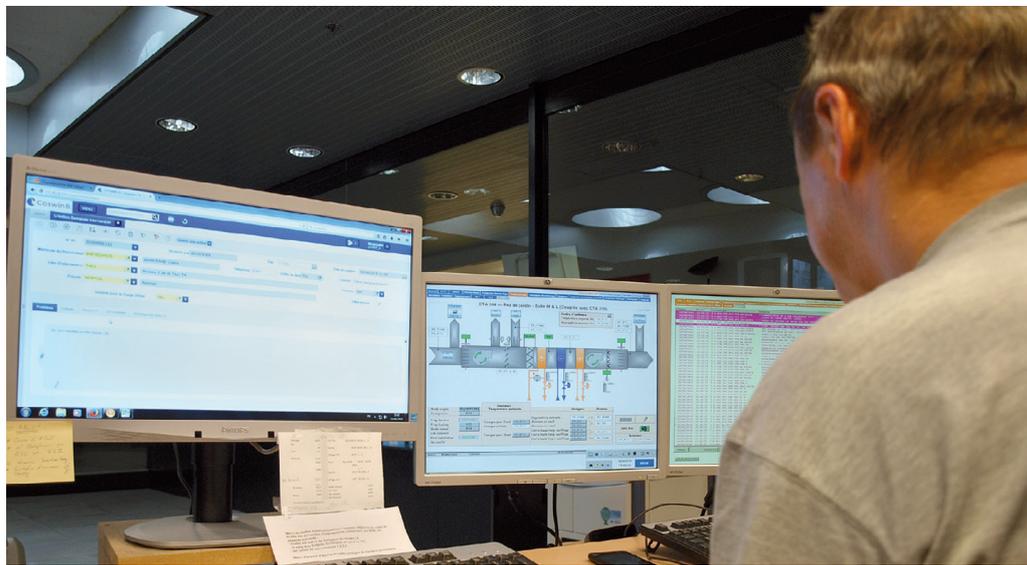
Les élèves doivent avoir en permanence présent à l'esprit qu'ils étudient pour avoir de bonnes notes et un diplôme ; mais cela ne dure que 2 ou 3 ans.  
Le niveau du savoir acquis pendant

leur formation, puis leur carrière professionnelle a un impact sur leur emploi et donc leur feuille de paie.

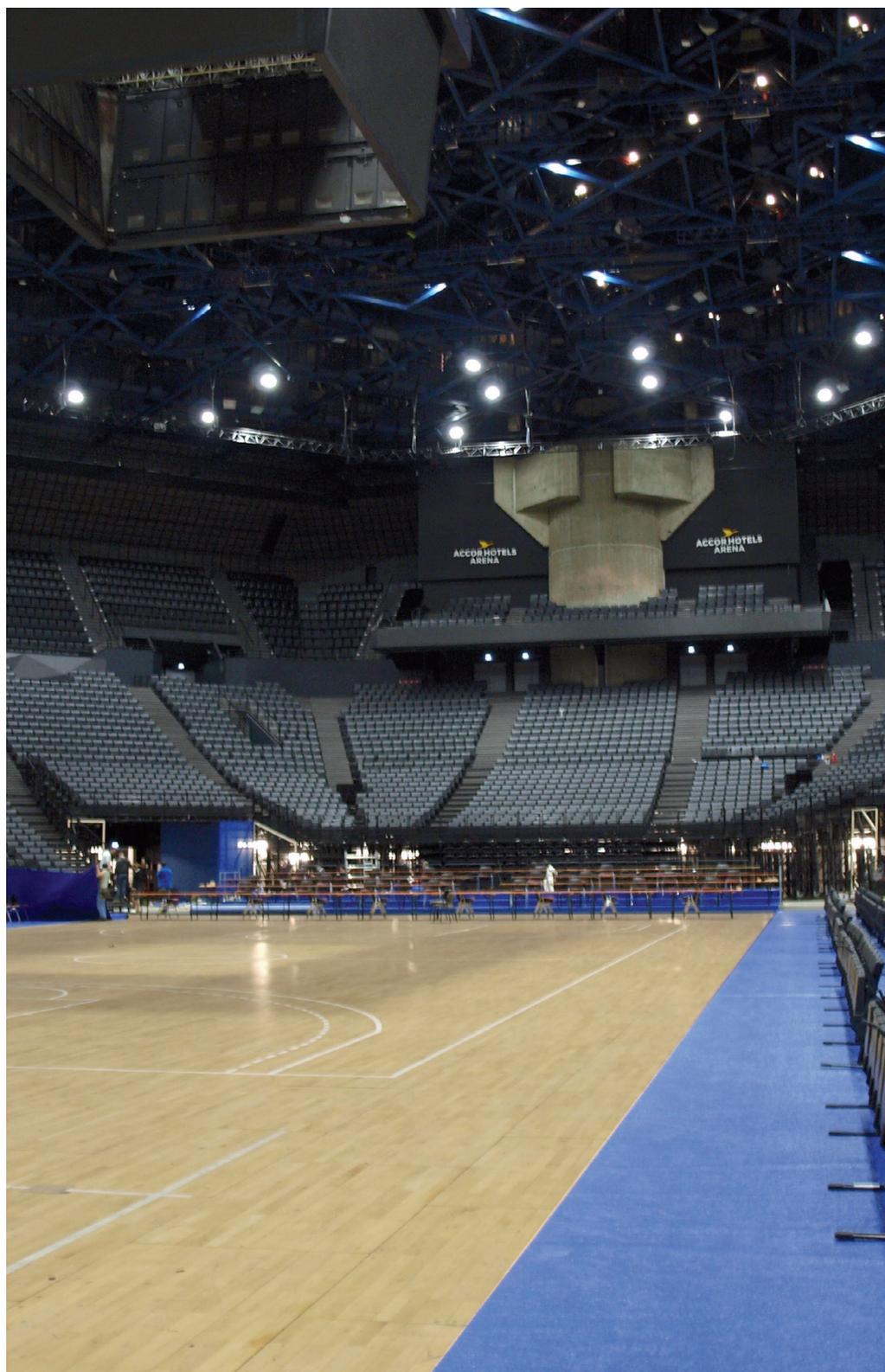
Cela dure 40 ans !

Donc au travail !

*Serge Mathé*







# Palais Omnisport Paris-Bercy



Interview de M. Henray  
par M. Pruvost

M. Henray, vous êtes le responsable du froid et de la climatisation sur le site du Palais Omnisports de Paris-Bercy.

## Pouvez-vous nous d'écrire votre travail ?

J'assure la maintenance et l'exploitation de toutes les installations de conditionnement d'air, de chauffage, les installations

sanitaires ainsi que la partie sécurité comme le désenfumage et les Robinets d'Incendie Armés.

## Quelles sont les puissances développées sur le site ?

Les grands chiffres du bâtiment sont une production de chaleur via la CPCU par un échangeur de 5 Mégawatts de puissance chaud alimentée en vapeur à 15 bars. On a une production de froid qui sert simultanément à la climatisation (3,2 Mégawatts froid positif) et à la patinoire (1,6 MW

froid négatif).

Une centaine de centrales de traitement d'air servent au traitement de l'air hygiénique surtout. Ainsi que 230 terminaux de climatisation de type ventilos-convecteurs 2 ou 4 tubes, cassettes plafonniers, armoires de climatisation de locaux informatiques.



## A quoi sert la climatisation sur ce site, vous avez parlé du terme : Air Hygiénique ?

On est un bâtiment recevant du public, avec des affluences importantes.

On doit donc selon la réglementation apporter de l'air neuf qui vient de l'extérieur, évidemment filtré, réchauffé ou refroidi selon la saison et l'occupation des salles.

Par exemple pour la grande salle, on traite au total 400.000 M<sup>3</sup>/h lorsque celle-ci est occupée.

Quand il y a un concert et que la salle est pleine, il faut apporter la quantité d'air hygiénique pour les personnes et assurer le confort thermique.



## Comment fait-on la glace de la patinoire ?

De l'eau glycolée à  $-10^{\circ}\text{C}$  passe dans des tubes à l'intérieur de la dalle froide, qui donne une température de dalle de  $-8,5^{\circ}\text{C}$ . C'est suffisant pour maintenir une couche de glace et pratiquer les sports de glace.

## Pour que ces systèmes fonctionnent, il faut du personnel qualifié. Pensez-vous qu'un élève qui se lance dans les études d'un Bac Pro Froid à de l'avenir dans cette filière ?

Je dirais même que c'est un minimum de formation exigée pour prétendre faire de la maintenance dans des installations telles que les nôtres. Un CAP sera trop juste, il faut au minimum un Bac Pro, voir un BTS.

C'est un métier qui a de l'avenir et beaucoup de potentialité pour des jeunes qui s'intéressent à la technique. Ce sont des métiers qui évoluent très vite avec de plus en plus d'intégration, de dispositifs communicants, d'informatique industrielle. C'est un métier promis à un bel avenir.





# L'arche de la Défense



Interview de M. Absalon, M. Fassi et Souleymane (élève stagiaire)  
par M. Pruvost

**M. Absalon, vous êtes le chef de chantier pour la société Eiffage sur le site de l'arche de la Défense. Combien de personnes travaillent pour vous ?**

Je gère une équipe de cinq personnes plus les entreprises sous-traitantes on arrive à un quinzaine de personnes.

### Quelles études avez-vous effectuées ?

J'ai fait un Bac Pro TFCA avant d'entrer dans la société Eiffage.  
J'ai fait des chantiers comme le nouvel hôpital de la ville d'Orléans où j'ai travaillé cinq ans avant de venir ici.

### Pensez-vous qu'un élève qui souhaite démarrer dans cette voie a de l'avenir ?

Oui bien-sûr. Il y a beaucoup de travail dans cette filière. Je conseille ce métier où je travaille avec une bonne équipe.



### M. Fassi, vous êtes apprenti sur ce chantier, quel travail faites-vous ?

C'est un chantier important. Mon tuteur me fait confiance et me laisse diriger les équipes avec lui, organiser le travail sur place. C'est-à-dire réceptionner les sous-traitants pour qu'ils passent la sécurité au poste de garde.

Je les amène sur le lieu du travail où ils exécutent selon leur spécialité. Je vérifie les habilitations. Bientôt vont arriver les Centrales de Traitement d'Air et je devrai faire le montage et les réglages de la régulation.

### Quelles études faites-vous ?

J'ai eu mon bac et je continue au lycée Raspail en BTS en apprentissage sur une durée de deux ans. Je fais donc 2 semaines au lycée puis deux semaines en entreprise environ.

## Souleymane, tu es élève en seconde au lycée Raspail. Que fais-tu dans l'arche de La Défense ?

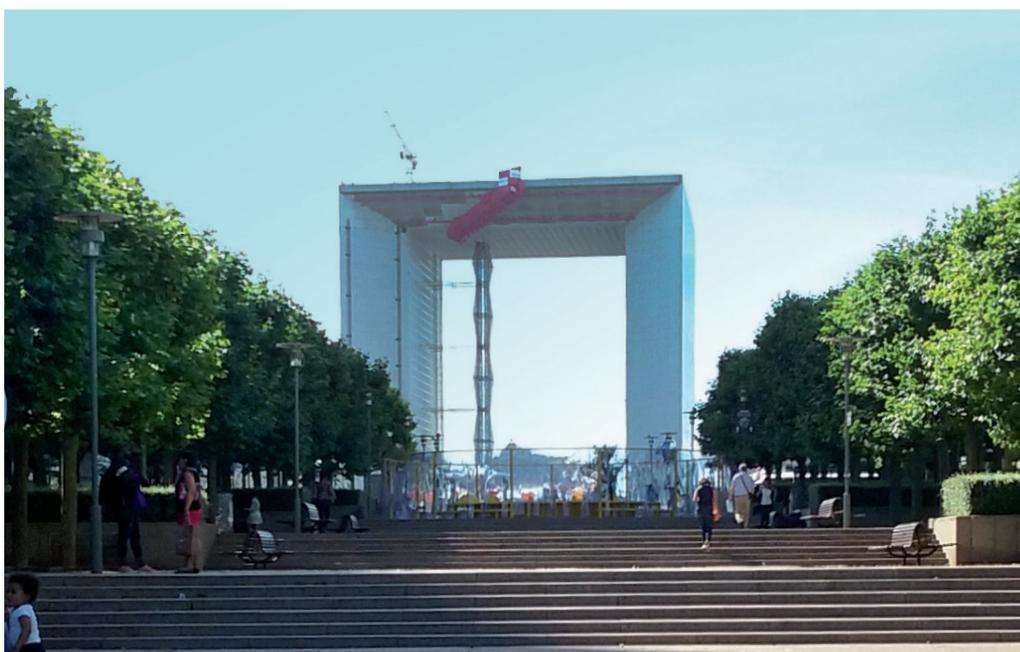
Pour obtenir le diplôme du BAC Pro, je dois faire une partie de mon année en entreprise. J'ai fait une demande à la société Eiffage qui m'a mis avec un compagnon pour apprendre le métier.

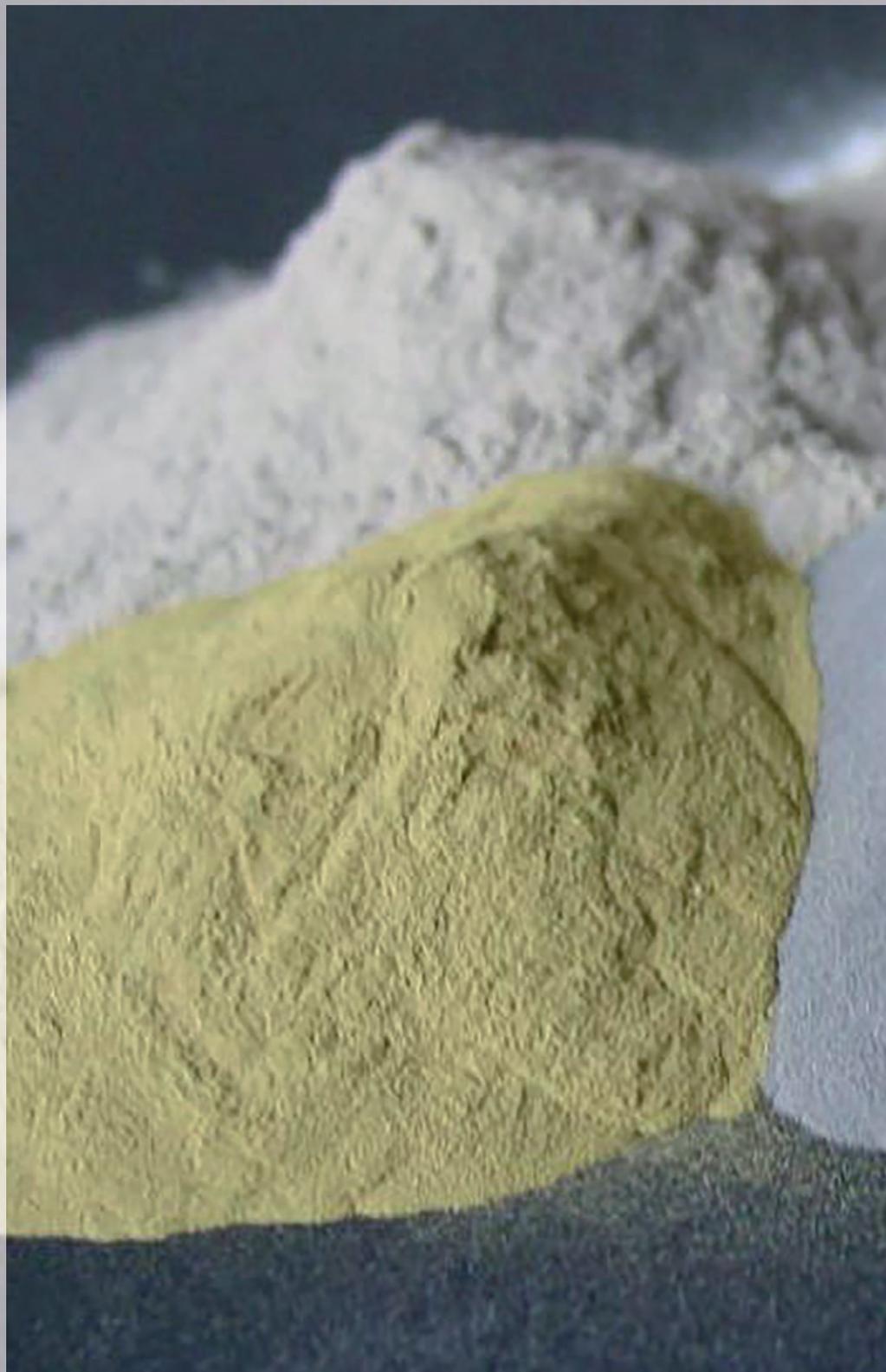
### Quel travail fais-tu ?

On fait le raccordement de tuyauteries pour la climatisation des bureaux et l'alimentation d'eau du restaurant et de la salle de sport.

### Penses-tu continuer dans ce métier ?

Oui je veux continuer car j'aime ce travail. Mon tuteur m'apprend bien et je veux être embauché dans cette grande entreprise qui fait des beaux chantiers.





Frigoriste

Chapitre 4

# Parcours d'un Frigoriste



**S**i le système frigorifique fonctionne presque toujours selon le même procédé, il n'empêche que le frigoriste intervient dans des chantiers auxquels on n'aurait pas pensé de prime abord.

Le froid sert pour les réfrigérateurs domestiques ou industriels, la climatisation pour les espaces à rafraîchir. Parfois l'ambiance à maintenir est l'objet d'une surveillance particulière et pointue

comme les salles d'opérations d'un hôpital où l'air doit être exempt de bactéries. Cela nécessite une technologie de filtration très surveillée. Mais il arrive que le frigoriste doive intervenir sur des chantiers originaux.

Voici quelques-uns de ces chantiers :

Pour commencer, j'ai intégré l'équipe de maintenance du site de la centrale nucléaire de Gravelines.



Toutes les installations fonctionnent à l'électricité. Il y a beaucoup de locaux informatiques en plus des bureaux à climatiser.

Les ventilations des parties exposées aux radiations faisaient partie d'un programme spécifique de suivi géré par EDF (devenue Engie).

J'ai suivi une formation interne de frigoriste dans mon entreprise Dalkia puis travaillé en binôme avec

le frigoriste attiré de l'équipe qui m'a beaucoup appris.

La société Dalkia nous a demandé à mon collègue et moi-même de démarrer un nouveau contrat dans l'usine «Aluminium Dunkerque».

Cette entreprise fabrique de l'aluminium en lingots pour les besoins des grosses sociétés.

Par exemple les moteurs de voiture jusqu'au rouleau de papier alu en cuisine.



Le contrat concernait la climatisation des grands bureaux, donc des Centrales de Traitement

d'Air et des groupes de froid, mais aussi les salles de laboratoire au traitement d'air particulier.

Les climatiseurs des ponts roulants et des grues sur le port à plusieurs dizaines de mètres de haut. Nous avons pu développer ce contrat et former une bonne équipe de plusieurs personnes à temps plein.

C'était un travail très intéressant; il a fallu mettre en place les documents de maintenance suivant la Norme Qualité ISO 9002 que nous avons obtenu avec succès.

Les installations de par leur diversité ont un intérêt particulier.



Le chantier suivant, sur lequel je suis intervenu, est Continental Can. Cette société fabrique les «canettes» de boisson pour différents clients.

Que ce soit des boissons gazeuses, jus de fruits, bière ou vodka pour la Russie principalement.

Le plus petit climatiseur monobloc dans des bureaux, jusqu'aux climatiseurs multisplits souvent sur le toit de l'usine. Les ventilations des lignes de fabrication faisaient l'objet du contrat.



Un autre chantier particulier où j'ai travaillé est la société Aspartame qui fabrique un produit alimentaire. Les salles de fabrication sont comme pour une salle d'opération en hôpital.

C'est à dire qu'il faut maintenir coûte que coûte une pression

d'air supérieure à la pression atmosphérique afin que pas un seul microbe ou moucheron ne pénètre. La partie filtration est donc sévère.

Les salles informatiques et les bureaux nécessitent aussi une climatisation.



Par la suite, je suis devenu professeur, et hormis la formation initiale, je suis intervenu auprès d'apprentis qui ont appris le métier afin d'intervenir sur les chambres froides et la climatisation des TGV. C'était un partenariat entre le lycée Raspail et la SNCF.

J'espère que la description de ce travail aura donné le goût d'apprendre ce formidable métier.

Vous avez pu voir que l'on commence par apprendre puis pratiquer souvent avec un tuteur ou un collègue.

Ensuite on se sent assez fort pour travailler seul. Plusieurs élèves du lycée Raspail ont été jusqu'à fonder leur entreprise. L'aventure ne fait que commencer.

Jean Paul Pruvost



# Remerciements

Je tiens à remercier pour avoir rendu possible la réalisation de ce livre :

Monsieur Glad : I.E.N en Sciences et Techniques Industrielles  
Madame Leroux-Langlois et Monsieur Galeazzi : Provisseurs successifs du lycée Raspail  
Monsieur Irankhah : Provisseur du lycée Maximilien-Vox  
Madame Berenguier : Provisseur du lycée Corvisart Tolbiac

Les Directeurs Délégués pour leur aide et conseils :

Monsieur Garault - Lycée Raspail  
Madame Décot - Lycée Maximilien-Vox  
Monsieur Manotta - Lycée Corvisart Tolbiac

Je remercie Madame Neyt pour la mise à disposition de son travail de présentation du lycée Raspail.

Je remercie chaleureusement chacun des collègues qui ont mis leur savoir-faire, compétences dans ce projet.

M. Lemarquand et M. Blotniki en Façonnage-Routage des produits imprimés.

Madame Reyman et Minereau pour la reliure d'art  
Madame Lexa pour la coordination sur le site de Corvisart Tolbiac et son travail de relecture.

Madame Tronchet et M. Guilnard en Bac Pro Production Imprimée  
M. Marazatto et M.Oger, Mme Redon en Bac Pro Production Graphique.  
Madame Haghe pour la coordination sur le site de Maximilien-Vox.

Je remercie chacun des intervenants pour avoir donné de son temps avec simplicité et chaleur humaine :

M. Bouteloup professeur Lycée Raspail  
M. Mathé Responsable technique BnF  
M. Henray Responsable Palais Omnisport Paris-Bercy  
M. Absalon Responsable de l'arche de La Défense pour Eiffage  
M. Fassi Apprenti sur le site de l'arche de La Défense.

Souleymane élève au lycée Raspail en stage  
Marko Milenkovic apprenti au lycée Raspail  
Nicolas Milenkovic apprenti au lycée Raspail  
Franklin Vain Kenhalé apprenti au lycée Raspail

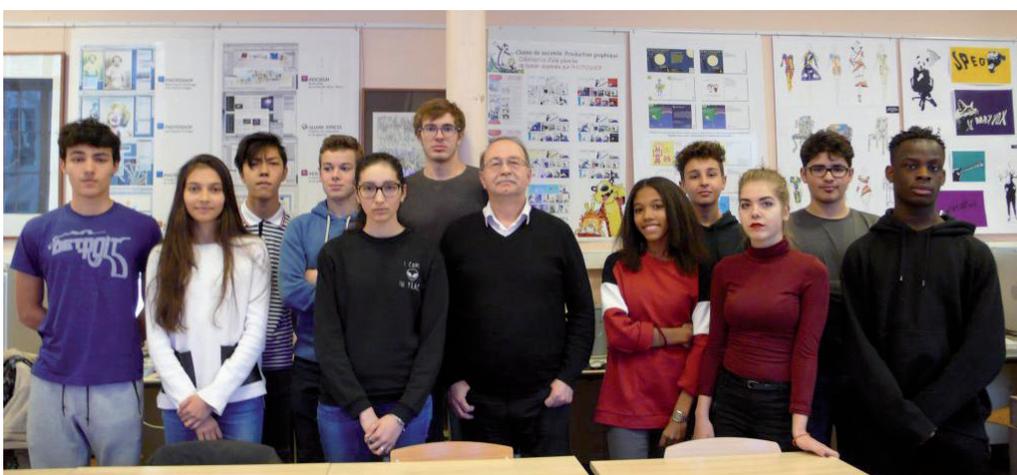
## Remerciements

Je remercie chacun des élèves de la filière Production Graphique du lycée Maximilien-Vox qui ont procédé à la fabrication de ce livre :

Bruno Barros, Sarah Benkhemiche, Alicia Costa, Tom Cuvilliez, Zachary El Kassimi, Quentin Gautier, Marie Iuda, Abraham Koré, Tamon Kunimoto, Alésia Valderrama et Roméo Vincent.



**MAXIMILIEN-VOX**  
ARTS APPLIQUÉS  
DESIGN DE COMMUNICATION  
INDUSTRIES GRAPHIQUES



Pour le lycée Corvisart Tolbiac :

Les élèves de la filière Façonnage de Produits Imprimés et Routage, ainsi que les élèves de la filière relieur.



Le chapitre «Histoire du froid» est librement inspiré de l'excellent film «Die Eröberung Der Kälte» largement diffusé sur Arte en français.

Achévé d'imprimer  
en janvier 2017  
par le  
Lycée Maximilien-Vox  
5 rue Madame  
75006 Paris

ISBN 979 10 91921 08 4

