

---

*Chapitre 02*

---

*Systeme de refroidissement  
pour  
véhicules automobiles*

---

## 2.1 INTRODUCTION

Dans un moteur à explosion, les pièces mécaniques tels que pistons, chemises et soupapes qui se trouvent dans l'environnement immédiat des combustions répétées chauffent et transmettent la chaleur à l'ensemble des pièces mécaniques du moteur. Afin d'éviter les risques de surchauffe susceptible de causer des dommages irrémediables dus à des contraintes thermomécaniques, il faut contrôler le gradient de température dans le moteur. D'où la nécessité d'un système de refroidissement qui aura pour rôle d'assurer une température régulière et adaptée pour le bon fonctionnement du moteur.

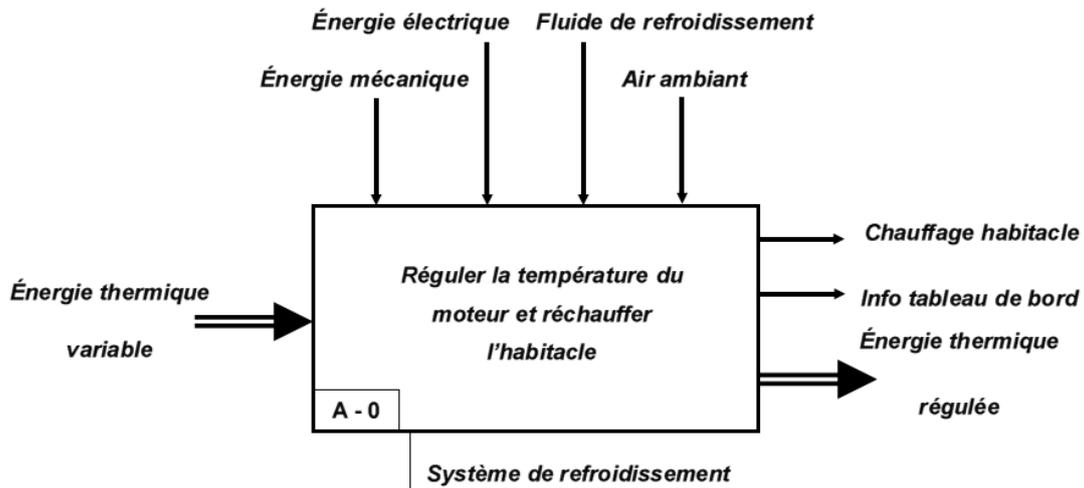
Dans les premiers temps, les véhicules automobiles étaient équipés d'un système de refroidissement utilisant l'air comme fluide caloporteur, après sont venus les systèmes de refroidissement utilisant un liquide de refroidissement comme fluide caloporteur. L'historique de ces système de refroidissement est donné comme suit [5]:

- **1875 (Alexis de Bishop)** à découvert le refroidissement par air. Ce type de refroidissement est surtout utilisé pour les moteurs équipant les vélomoteurs et motocyclettes de faible cylindrée, mais aussi sur des automobiles. Il peut être optimisé sur les automobiles par l'utilisation d'un ventilateur, dont la présence ne révèle toutefois pas toujours un refroidissement à air.
- **1886 (Samuel Brown)** inventa le refroidissement du moteur par de l'eau afin d'améliorer les performances du refroidissement. Dans son moteur, l'eau entraînée par une pompe circule autour des cylindres entourés d'une chemise. Ensuite, l'eau est refroidie par contact direct avec l'air ambiant.
- **1897 (Wilhelm Maybach)** on ajouta à l'eau différents adjuvants qui devint alors le liquide de refroidissement. Après de nombreux tâtonnements, il mit au point le radiateur dit « nid d'abeille » qui permet le refroidissement très efficace d'un liquide. Le radiateur est situé dans un circuit fermé ou semi-fermé rempli d'un liquide (à base d'eau) assurant le refroidissement du moteur.

Dans ce chapitre on s'intéresse principalement au système de refroidissement d'un moteur d'automobile et en particulier le radiateur entant qu' échangeur de chaleur.

## 2.2 FONCTION GLOBALE

Le système de refroidissement est essentiel au bon fonctionnement de tous les véhicules automobiles équipés d'un moteur à explosion. La fonction globale des différents composants d'un système de refroidissement est d'assurer en premier lieu la montée rapide en température du moteur en deuxième lieu, maintenir une température de fonctionnement ainsi qu'une pression constante pour éviter toute surchauffe des parties chaudes du moteur (**Figure 2.1**).



**Fig. 2.1** : SADT du système de refroidissement automobile (Niveau A-0) [6]

## 2.3 CLASSIFICATION

La température générée dans la chambre de combustion d'un moteur à combustion interne atteint des valeurs extrêmement élevées (environ 2 000 °C) qui conduiraient à faire fondre le moteur lui-même si un dispositif de refroidissement n'était pas prévu. Ce refroidissement peut être de deux types.

### 2.3.1 Le refroidissement par air

Le refroidissement par air est plus simple, car la chaleur de la combustion est dissipée par des ailettes venues de fonderie avec les cylindres et les culasses du moteur (**Figure 2.2**). Ce système nécessite des carénages, déflecteurs, volets, etc... La circulation de l'air autour de ces ailettes est souvent forcée par un ventilateur pour que le moteur ne surchauffe pas lorsque la voiture roule doucement et que le vent relatif est nul. Ce type de refroidissement a surtout été utilisé pour les voitures de petite cylindrée et les motos [11].

Le refroidissement par air, malheureusement abandonné sur les véhicules actuels, est évidemment d'une extrême simplicité et présente de ce fait de nombreux avantages : fiabilité totale, pas de risque de gel, prix de revient modique. La chaleur de la combustion du moteur est évacuée par de nombreuses ailettes venues de fonderie avec les cylindres et les culasses.

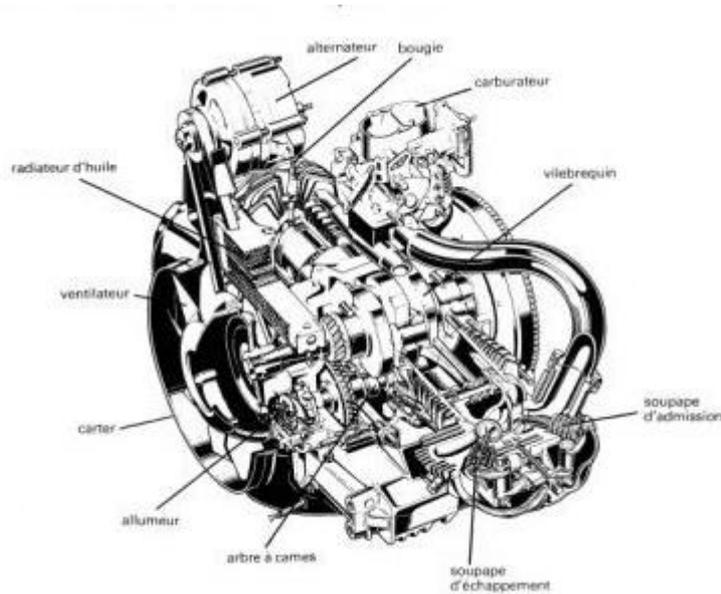


Fig. 2 .2 : Système de refroidissement par air [11].

### 2.3.2 Refroidissement par liquide

Un circuit de refroidissement liquide est plus compliqué, et donc plus onéreux qu'un circuit de refroidissement à air. Cependant, un circuit de refroidissement liquide présente de nombreux avantages. Un moteur ainsi refroidi est plus silencieux, car les chambres de combustion sont entourées par le liquide de refroidissement (eau plus divers additifs, par exemple antigel) qui fait office d'écran antibruit.

- **Refroidissement par thermosiphon** : L'eau s'échauffe au contact des cylindres puis circule vers le réservoir supérieur du radiateur. Cette eau chaude est remplacée par de l'eau froide de la partie inférieure du radiateur. Ce système n'existe plus seul mais se retrouve dans tous les circuits de refroidissement actuels (Figure 2.3a) .
- **Refroidissement par thermosiphon accéléré par pompe** : La pompe à eau peut être fixée sur la culasse ou le bloc moteur (Figure 2.3b). Elle est située généralement à la sortie de l'eau froide.

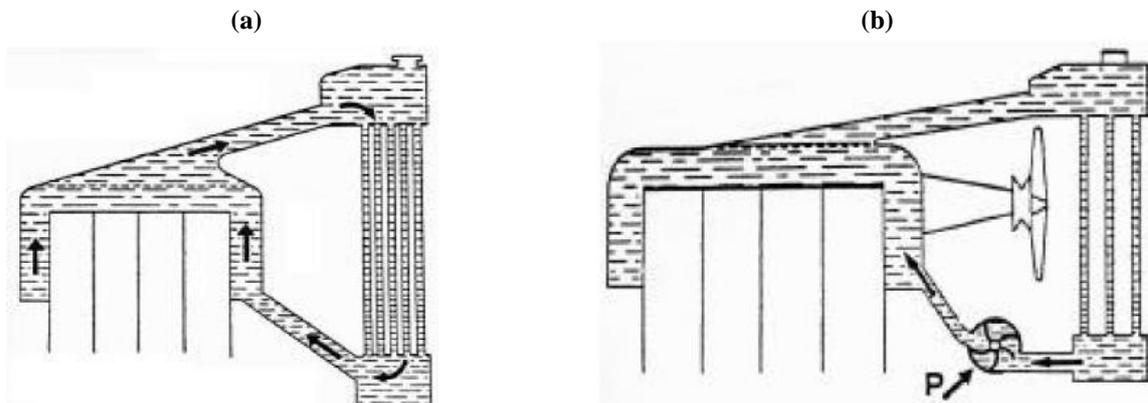


Fig. 2 .3 : Système de refroidissement par liquide [10].

## 2.4 SYSTEME DE REFROIDISSEMENT PAR LIQUIDE

### 2.4.1 Description

Le système de refroidissement des véhicules automobiles tracté et /ou propulsé par un moteur à combustion interne est composé de tout un ensemble d'éléments, notamment (**Figure 2.4**) :

1. *Liquide de refroidissement.*
2. *Pompe de circulation.*
3. *Thermostats.*
4. *Radiateur.*
5. *Vase d'expansion.*
6. *Moto-ventilateur.*
7. *Sondes de température, capteur de température et thermocontact*

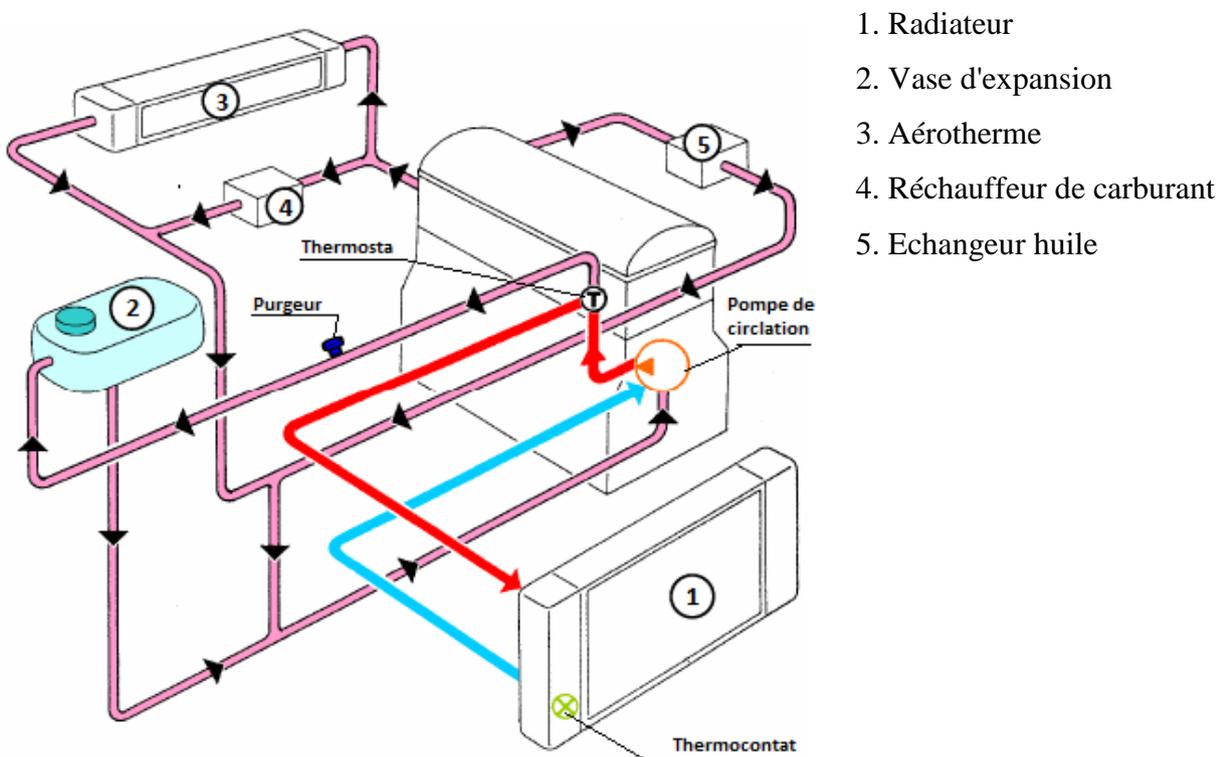


Fig. 2.4: système de refroidissement [7]

### 1° Liquide de refroidissement

Le liquide de refroidissement est constitué d'eau, de liquide antigel et d'agents anticorrosifs, dans des proportions qui peuvent varier significativement. En règle générale, l'eau et le liquide antigel (un alcool de type éthylène glycol) représentent plus de 90% du contenu du liquide.

Il a deux fonctions :

- Acheminer les calories jusqu'au radiateur pour les évacuer
- Refroidir le moteur

Le liquide de refroidissement a la particularité de ne bouillir qu'au-delà de 100°C et, pour qu'il gèle, les températures doivent être très basses. Il a donc pour premier rôle de maintenir une constance dans la température du moteur en évitant les surchauffes mais aussi en évitant que l'eau ne gèle. Ce liquide caloporteur est parfois appelé liquide antigel, mais cette dénomination est impropre. Il transporte vers le radiateur les calories produites en excès par le moteur et que celui-ci ne peut évacuer de façon autonome. Mais il sert aussi à limiter les risques d'oxydation et les dépôts de calcaire dans le circuit. Son rôle est donc primordial dans le bon fonctionnement du moteur[8].

## 2° Pompe de circulation

La pompe à eau est dans la plupart des cas une pompe de type centrifuge à volute. Elle est normalement entraînée à partir du vilebrequin, soit à l'aide de la courroie de distribution, soit à l'aide d'une courroie accessoire. La pompe à eau consomme de 1 à 3% de la puissance moteur. (figurer2.5).



Fig. 2.5: Pompe à eau [9]

## 3°. Thermostat ou calorstat

Lors du fonctionnement d'un moteur à explosion, la température de fonctionnement a un effet direct sur la lubrification et l'alimentation, ainsi que sur la consommation de carburant et donc sur la pollution. Ainsi:

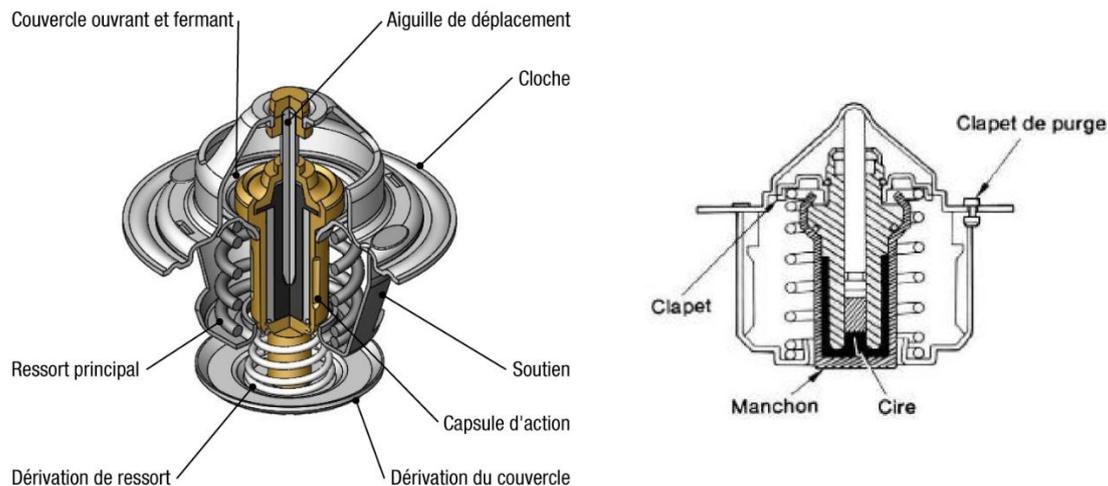
- A basse température, le mélange combustible n'atteint pas le pouvoir calorifique requis et augmente sa consommation. L'huile est plus dense et rend le mouvement interne plus difficile.
- A haute température, l'huile perd ses propriétés lubrifiantes et les matériaux du moteur en souffrent

Pour contrôler la température de fonctionnement et s'assurer qu'elle soit située entre les limites idéales pour le bon fonctionnement du moteur, on fait appel à un dispositif thermo-mécanique appelé thermostat ou calorstat ou vanne thermostatique [10].

Le thermostat régule la circulation de l'eau dans le circuit pour que la température du moteur reste stable, entre 70°C et 90°C, limite idéale pour le bon fonctionnement du moteur. Le thermostat est situé à la sortie du bloc-moteur, avant le radiateur, et lorsque la température de l'eau est inférieure à la température prévue, le thermostat est fermé, de sorte que l'eau ne circule pas dans le radiateur pour que le moteur chauffe avant.

Lorsque le thermostat est fermé, l'efficacité du circuit de refroidissement diminue, réduisant ainsi la circulation du liquide de refroidissement, allant même jusqu'à la supprimer, en la faisant circuler uniquement à l'intérieur du bloc-moteur. Cela permet au moteur de chauffer beaucoup plus rapidement au démarrage, ce qui réduit le temps de fonctionnement à basse température. Ainsi, le rôle du thermostat est de permettre au liquide de refroidissement d'atteindre rapidement la température idéale pour le bon fonctionnement du moteur et de s'y maintenir.

Le type de thermostat le plus couramment utilisé aujourd'hui est celui connu sous le nom de thermostat à cire (**figure 2.6**) [10]. Le thermostat à cire utilise les propriétés de dilatation d'une matière composée de cire, de pétrole et de poudre de cuivre. Ces matériaux ont une bonne conductibilité thermique. Cette matière, enfermée dans une capsule augmente de volume en devenant pâteuse quand la température augmente. Elle se contracte en se solidifiant [11].



**Fig. 2.6:** Thermostat [10-11]

#### 4°. Radiateur de refroidissement

Le radiateur a pour rôle de refroidir le liquide de refroidissement qui a été chauffé dans les passages d'eau du bloc moteur (**Figure 2.7**). Situé à l'avant du véhicule, il permet d'abaisser significativement la température du liquide de refroidissement au contact de l'air. L'écoulement de l'air est naturel (lorsque le véhicule est en mouvement) ou forcé à l'aide d'un moto-ventilateurs (lorsque le liquide de refroidissement est chaud et que le véhicule est à l'arrêt).

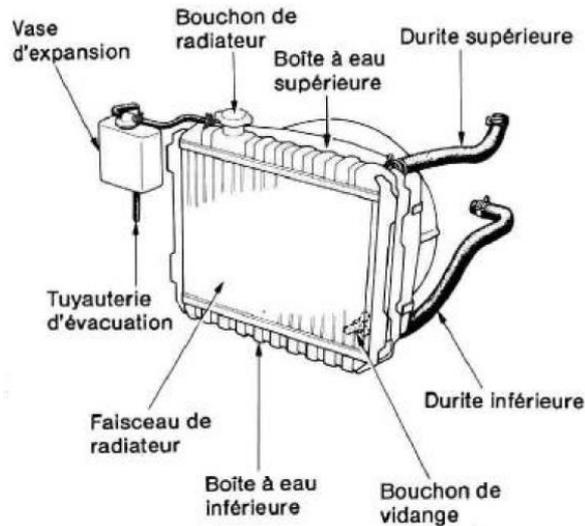


Fig. 2.7: Vue extérieure d'un radiateur automobile [11]

5°. Vase d'expansion et sa soupape de sécurité

a. Vase d'expansion

Le rôle du vase d'expansion (réservoir de trop plein) est de compenser les variations de volume du liquide de refroidissement et de permettre la mise sous pression du circuit. Le vase d'expansion est relié au radiateur par la tuyauterie de trop plein ou intégré au radiateur ou encore intégré dans le circuit (Figure 2.8).

Le vase d'expansion sert à éviter les surpressions dans le circuit de refroidissement. Lorsque le liquide de refroidissement est à température ambiante, l'air contenu dans le vase d'expansion est à pression atmosphérique. Dès que le liquide monte en température, ce dernier se dilate et l'air présent dans le bocal monte en pression.

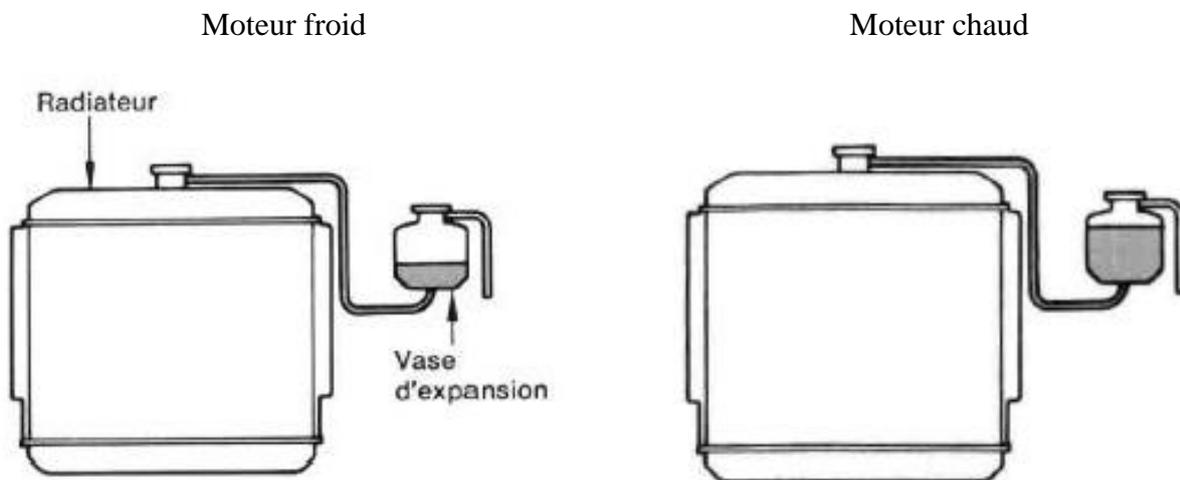
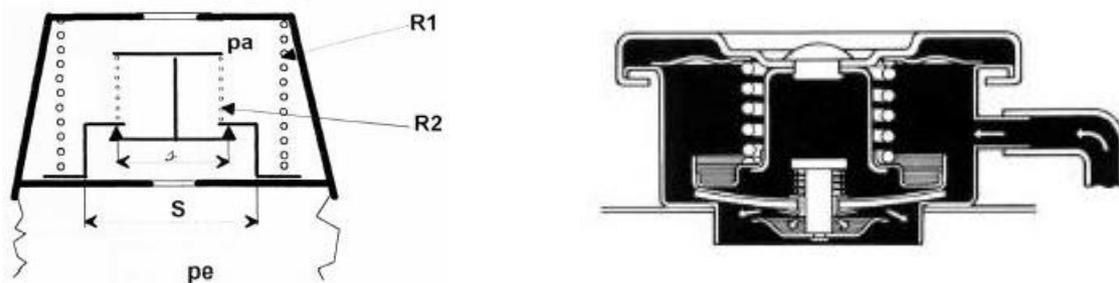


Fig. 2.8: Vase d'expansion [11]

### b. Soupape de sécurité

Afin que le liquide ne soit pas en surpression, une soupape permet d'évacuer une petite quantité d'air lorsque la pression est trop élevée. Lorsque le liquide refroidit, la pression dans le système diminue et l'air présent revient à la pression atmosphérique.

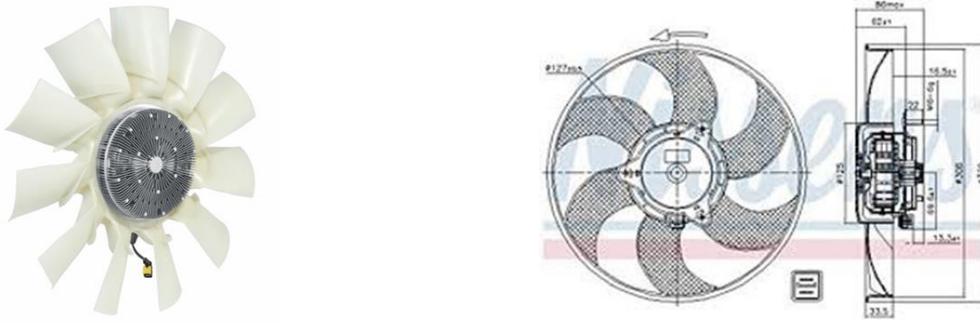
Le rôle de la soupape de sécurité est de permettre au liquide de refroidissement d'atteindre une température supérieure à 100°C sans ébullition. Le bouchon étanche comporte un clapet de tarage et un clapet de dépression (**Figure 2.9**). A mesure que la température augmente et que le volume du liquide de refroidissement augmente, il y a également montée de la pression. Lorsque cette pression dépasse une valeur déterminée (0,8 à 1,4 bars), le clapet de tarage s'ouvre, permettant ainsi à la pression excédentaire de s'échapper par la tuyauterie de trop-plein. Après arrêt du moteur, la température du liquide de refroidissement diminue. Le clapet à dépression s'ouvre alors, permettant l'arrivée d'air pour éliminer la dépression dans le radiateur. En conséquence, le liquide de refroidissement présent dans le radiateur est à la pression atmosphérique lorsque le moteur a entièrement refroidi [11].



**Fig. 2.9:** Soupape de sécurité [11]

### 6°. Moto-ventilateur

Le moto-ventilateur sert à forcer le flux d'air à travers le radiateur lorsque le liquide de refroidissement devient trop chaud. Il est entraîné par un moteur électrique, de manière à pouvoir se déclencher une fois le moteur éteint. Il entre normalement en fonction lorsque les conditions de circulation ne sont pas favorables, à savoir dans les embouteillages, en montagne, etc. Le déclenchement du moto-ventilateur est conditionné par une sonde de température située au niveau du radiateur (**Figure 2.10**).



**Fig. 2.10:** Moto-ventilateur [9]

### 7°. Sondes de température.

Dans le circuit de refroidissement, les composants d'acquisition de l'information sont de trois types [12] :

- La sonde de température : elle informe de la température du moteur à l'automobiliste sur le tableau de bord. C'est également cette sonde qui allume le voyant de surchauffe.
- Le capteur de température : il mesure la température du moteur et transmet cette donnée à l'ECU: Electronics Control Unit (système électronique qui gère le fonctionnement du moteur).
- Thermocontact : il met en marche ou arrête le ventilateur du radiateur en fonction de la température du moteur.

Ces composants fournissent des données importantes aux systèmes de gestion du moteur. Un mauvais fonctionnement de l'un de ces éléments peut causer des dommages irrévocables.

#### a. Sonde de température

La sonde de température est une thermistance qui permet de contrôler la température du liquide de refroidissement et de l'afficher, le cas échéant, au tableau de bord (**Figure 2.11**). Elle est normalement placée au point le plus chaud du circuit de refroidissement, au niveau de la culasse. La sonde de température mesure la température du moteur et l'indique au niveau du tableau de bord. La sonde est un instrument de mesure de la température [10].



**Fig. 2.11:** Sonde de température FAE [10]

### b. Capteur de température

Le capteur est relié au calculateur et peut influencer le comportement moteur et le démarrage. Pour certains véhicules, la sonde et le capteur de température sont réunies en un seul composant. On parle alors de capteur intégré (**Figure 2.12**).



**Fig. 2.12:** Capteur de température FAE [10]

### c. Thermocontact

Le thermocontact met en marche automatiquement le ventilateur du radiateur en cas de surchauffe (**Figure 2.13**).



**Fig. 2.13:** Thermocontact FAE [10]

La sonde et le capteur de température sont généralement situés sur la culasse (partie haute du moteur) mais l'accès peut parfois se révéler difficile car ils sont situés un peu plus à l'arrière. Le capteur de température est de plus en plus utilisé pour remplacer le thermocontact pour allumer et éteindre le ventilateur, ainsi que pour indiquer la température sur le thermomètre du tableau de bord.

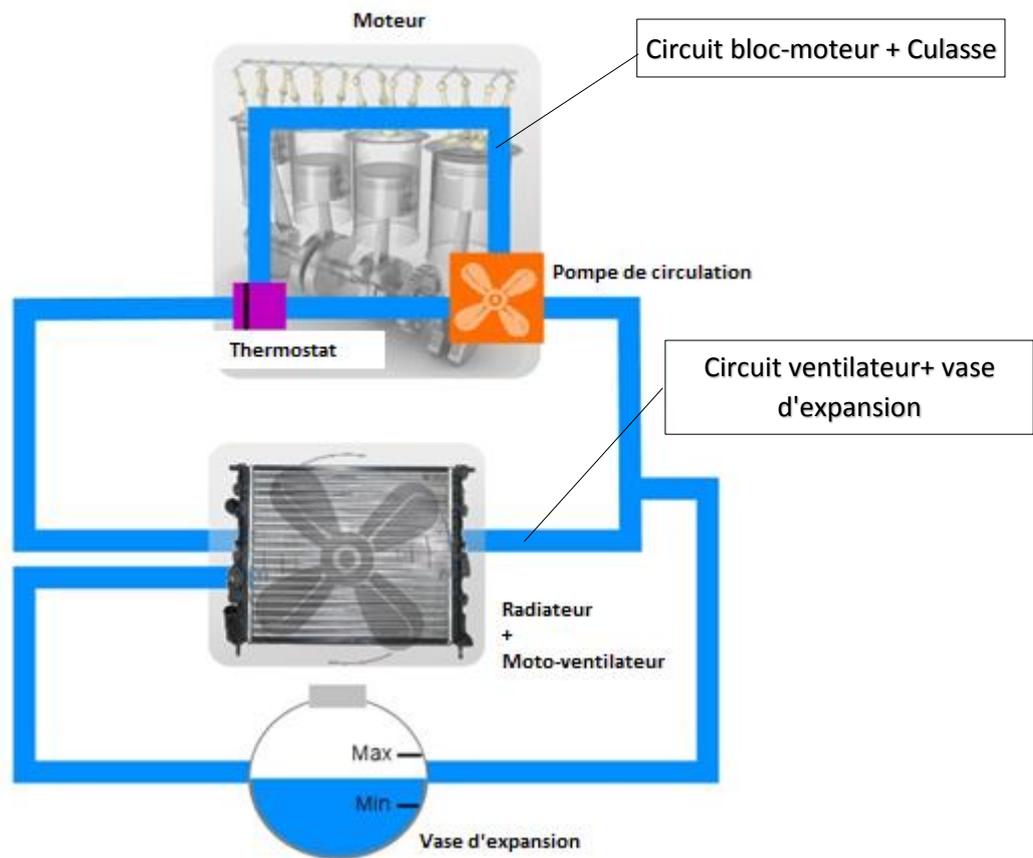
### 2.4.2 Fonctionnement

Le principe du refroidissement par circulation du liquide pour un véhicule automobile est d'extraire sur moteur la chaleur en excès. Ainsi, le fonctionnement suit les étapes suivantes:

#### Phase 1: Moteur éteint

Aucune circulation de fluide n'a lieu dans le circuit de refroidissement (**Figure 2.14**). Le moteur étant éteint, la pompe de circulation se trouve à l'arrêt et le thermostat en position fermée. Deux circuits vont exister:

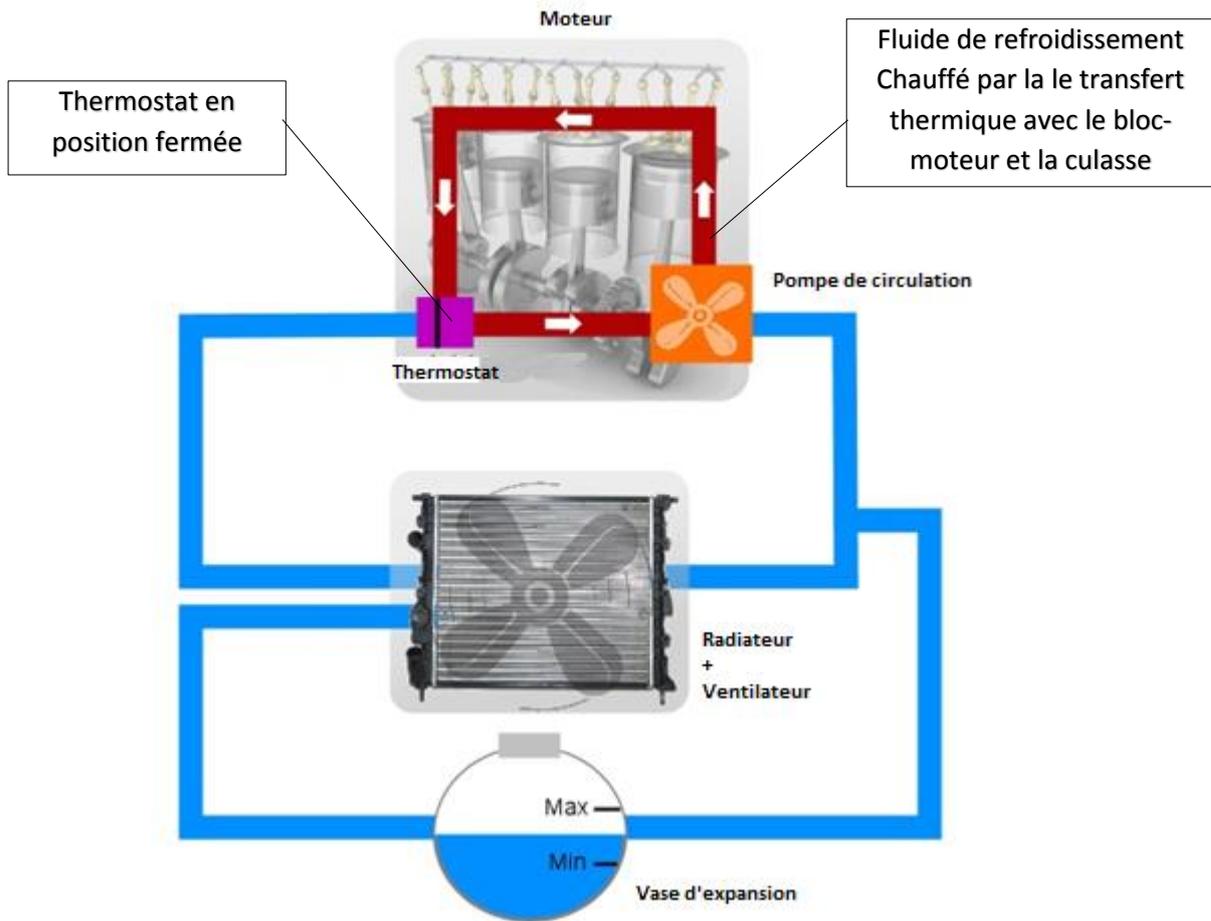
- Circuit bloc-moteur et culasse
- Circuit radiateur et vase d'expansion.



**Fig.2.14:** Circuit de refroidissement moteur éteint [13]

#### Phase 2: Montée en température du moteur

Dans cette phase le système de refroidissement a pour mission d'assurer ce qu'on appelle la montée progressive en température car le moteur ne fonctionne correctement que lorsqu'il arrive à une certaine température. Lorsque le moteur est encore froid, le liquide de refroidissement se trouve à basse température. Le thermostat étant en position fermée il empêche la circulation du liquide dans la totalité du circuit. Ainsi, la pompe de circulation fait circuler le fluide de refroidissement en boucle fermée dans le circuit constitué du bloc-moteur et culasse sans passer par le radiateur et permettre ainsi la montée rapide et progressive de la température du moteur (**Figure 2.15**).



**Fig.2.15:** Circuit de refroidissement moteur démarré [13]

### Phase 3: Moteur chaud

Lorsqu'un moteur fonctionne, sa température de combustion atteint en quelques minutes 2000 °C dans le cas des moteurs à essence et 1800°C des moteurs Diesel [14]. Cependant, le bloc-moteur et la culasse étant sollicités à des contraintes thermiques, il est nécessaire de les refroidir afin d'éviter leur endommagement. A cet effet, le liquide de refroidissement étant en contact avec les différents points chauds du moteur, extrait la chaleur générées par l'augmentation du gradient de température. Lors de l'évacuation de la chaleur, lorsque le liquide de refroidissement atteint la température optimale de 88°C, le thermostat qui était initialement fermé s'ouvre permettant au liquide de refroidissement de s'écouler vers le circuit constitué du radiateur-vase d'expansion (Figure 2.16).

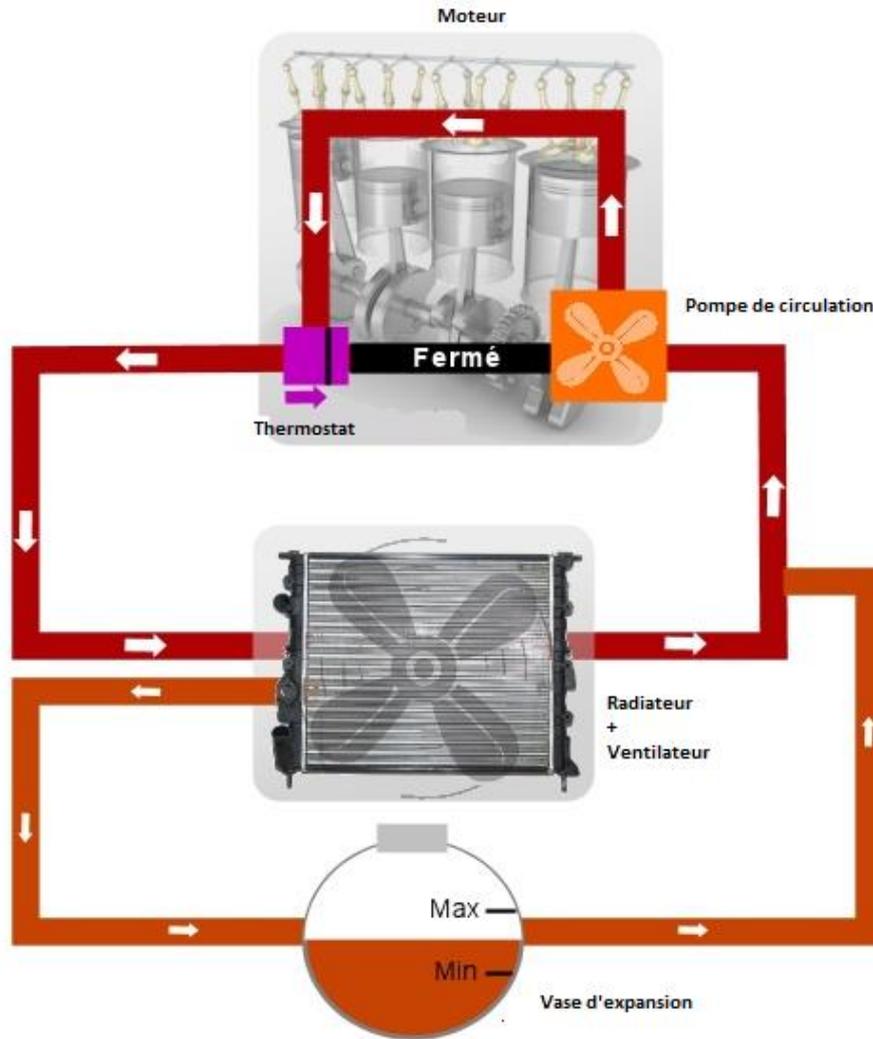


Fig.2.16: Circuit de refroidissement moteur démarré [13]

#### Phase 4: Régulation

Pour que la température du moteur reste stable, entre  $70 / 90 \text{ }^\circ\text{C}$  ou  $75 / 95 \text{ }^\circ\text{C}$ , limite idéale pour le bon fonctionnement du moteur, sa température doit être régulée. La régulation de la température du moteur par le système de refroidissement se fait sur deux niveaux :

- Le débit du liquide de refroidissement
- Le débit d'air de refroidissement

##### a. Régulation du débit de liquide de refroidissement.

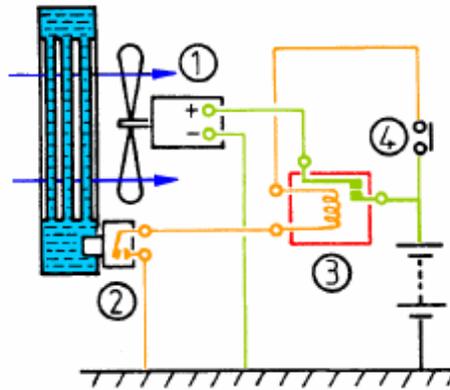
La régulation du débit du liquide de refroidissement est réalisée grâce à l'action du thermostat. Ce dernier est une vanne thermostatique qui s'ouvre en fonction de la température pour permettre au liquide de refroidissement de s'écouler en direction du radiateur. Cette action est continue, ce qui signifie que durant tout le fonctionnement du moteur, le thermostat peut se retrouver en position ouverte [7].

### b. Régulation du débit d'air de refroidissement

La régulation du débit d'air de refroidissement est réalisée grâce à l'action du thermocontact [7]. Le thermocontact tient compte de la température du liquide de refroidissement qui se trouvent dans le radiateur et son fonctionnement est fonction des paramètres suivants:

- Température du liquide de refroidissement dans le moteur;
- Ouverture ou la fermeture du thermostat ;
- Vitesse de rotation de la pompe de circulation;
- Vitesse de l'air qui traverse le radiateur

En se fermant, le thermocontact permet l'alimentation du bobinage du relais qui ferme son contact de puissance autorisant ainsi la mise en marche du ventilateur qui va assurer un transfert de chaleur par convection forcée. L'entraînement du ventilateur se fait par un moteur électrique à deux vitesses grâce à un montage série/parallèle.



1. Motoventilateur; 2. Thermocontact; 3. Relais; 4. Contacteur général

**Fig.2.17:** Système de régulation d'aire de refroidissement [7]

## 2.5 CONCLUSION

Dans ce chapitre il a été question du système de refroidissement pour véhicule automobile et en particulier le refroidissement par liquide. Ce chapitre a été abordé par un bref historique sur l'évolution des système de refroidissement automobile ainsi que la fonction globale devant être assurée par ce genre de système. Deux genre de système existent pour l'automobile: le refroidissement par air et le refroidissement par liquide. Ce dernier a été traité à travers la description de ses composants ainsi que son fonctionnement. Dans le chapitre qui suit, le composant radiateur sera le centre d'intérêt pour une étude thermofluidique.