



Contraintes thermiques autour d'un système pile à combustible embarqué sur un véhicule

5 Avril 2006



RENAULT

Robert YU, Gérard OLIVIER, Pascal ARCHER



1 Introduction

- Système PàC de traction avec reformeur embarqué
- Thermique du Module de Puissance, des organes de traction électrique, et de l'habitacle

2 Module de puissance PàC, véhicule

- Puissance, Température
- Contraintes Véhicule: taille du radiateur, débit d'air
- Liquide de refroidissement à faible conductivité électrique, compatibilité matériaux
- Démarrage à froid, et température négative

3 Composants traction électrique

- Moteur électrique, électroniques de puissance
- Batteries

4 Confort thermique

- Chauffage et climatisation

5 Conclusion et Perspectives



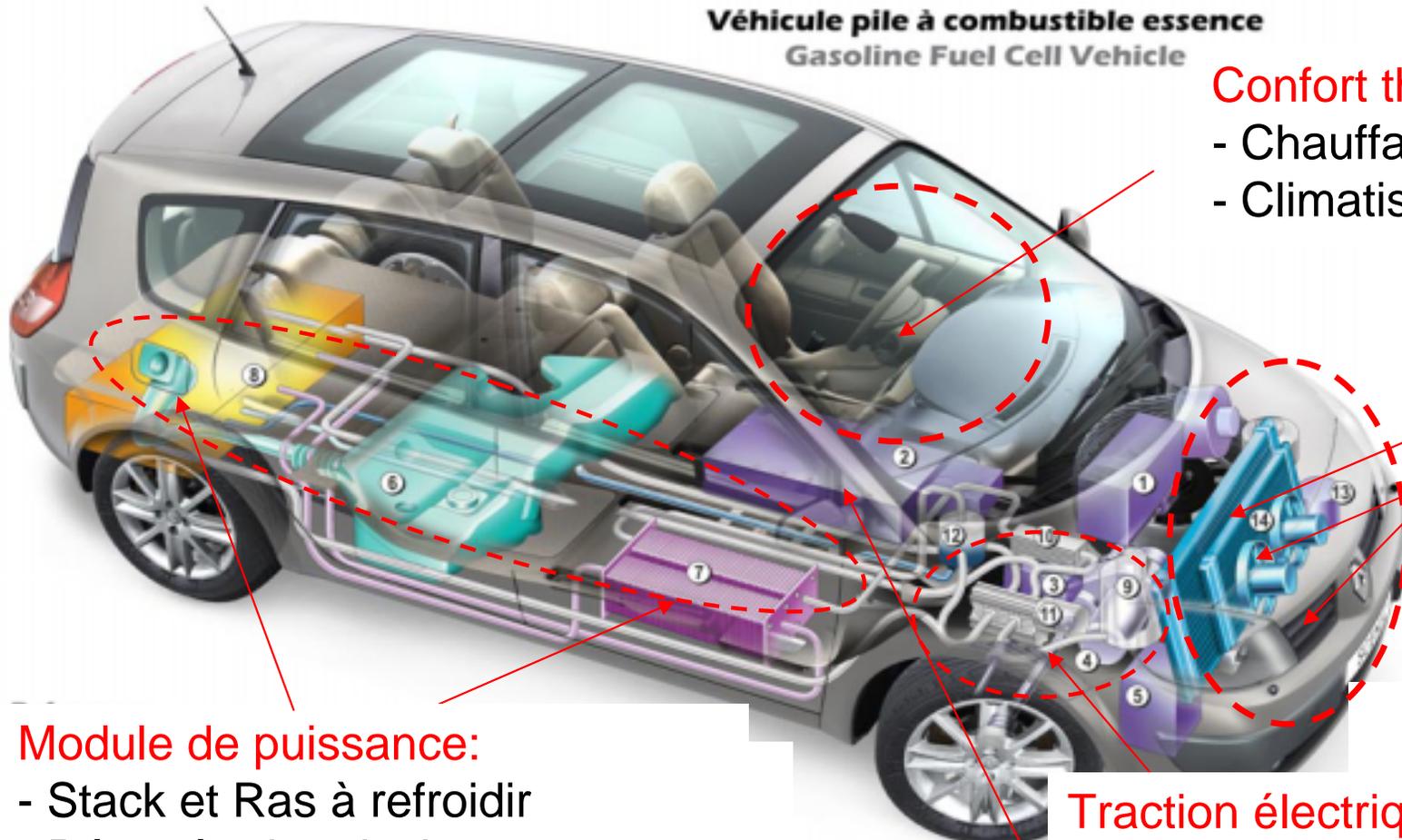
1

Introduction



1. Introduction: thermique véhicule PàC

Véhicule pile à combustible essence
Gasoline Fuel Cell Vehicle



Confort thermique:

- Chauffage
- Climatisation

Véhicule et Environnement:

- Radiateur
- Débit d'air
- Froid: -18°C
- Chaud: 45°C

Module de puissance:

- Stack et Ras à refroidir
- Récupération de l'eau
- Mise en action et démarrage à t° négative

Traction électrique:

- machines électriques
- électroniques de puissance
- batteries



RENAULT

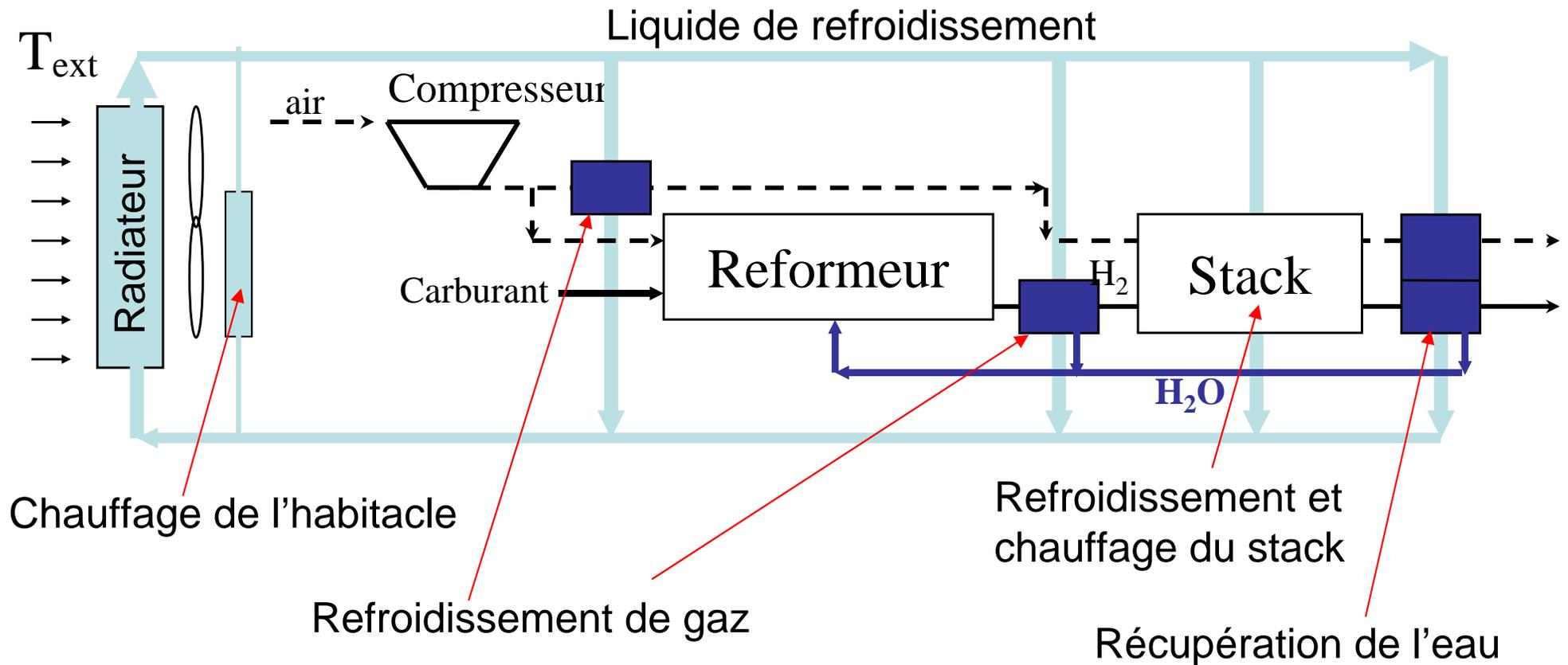


2

Module de puissance et véhicule



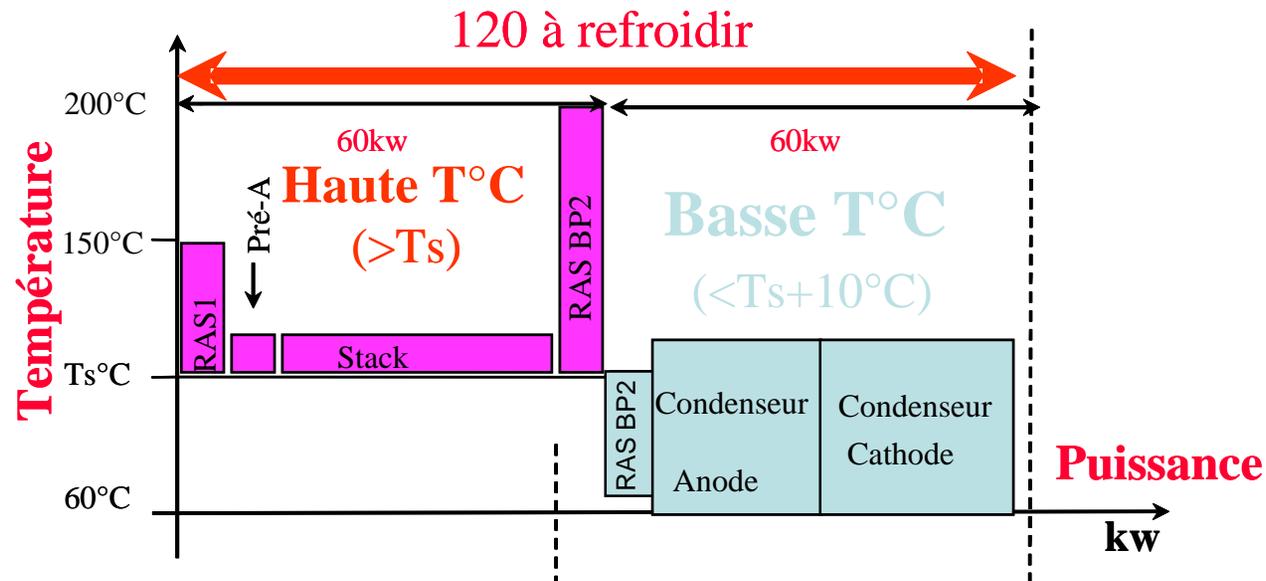
2. Module de Puissance: Rôles du système de refroidissement



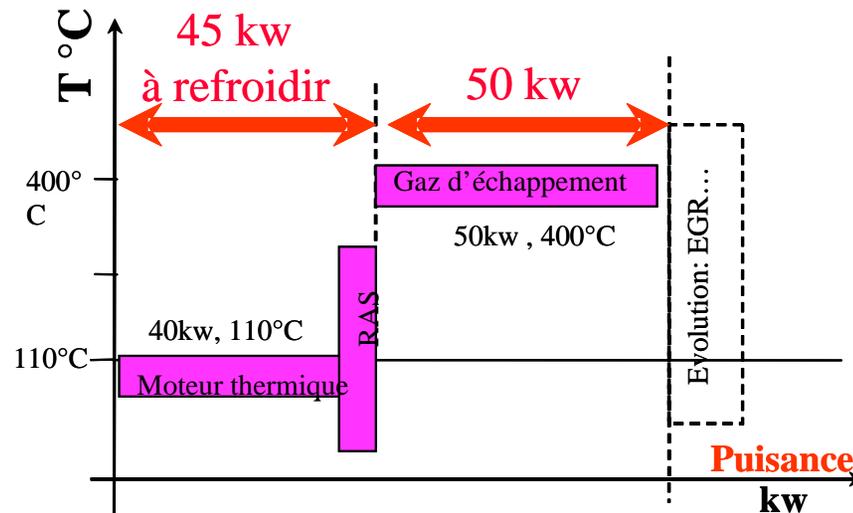


2. Problématique: Puissance et température exemple à Pmax

Véhicule
PàC 65 Kw



Véhicule
Conventionnel
Cas moteur Diesel 65kw

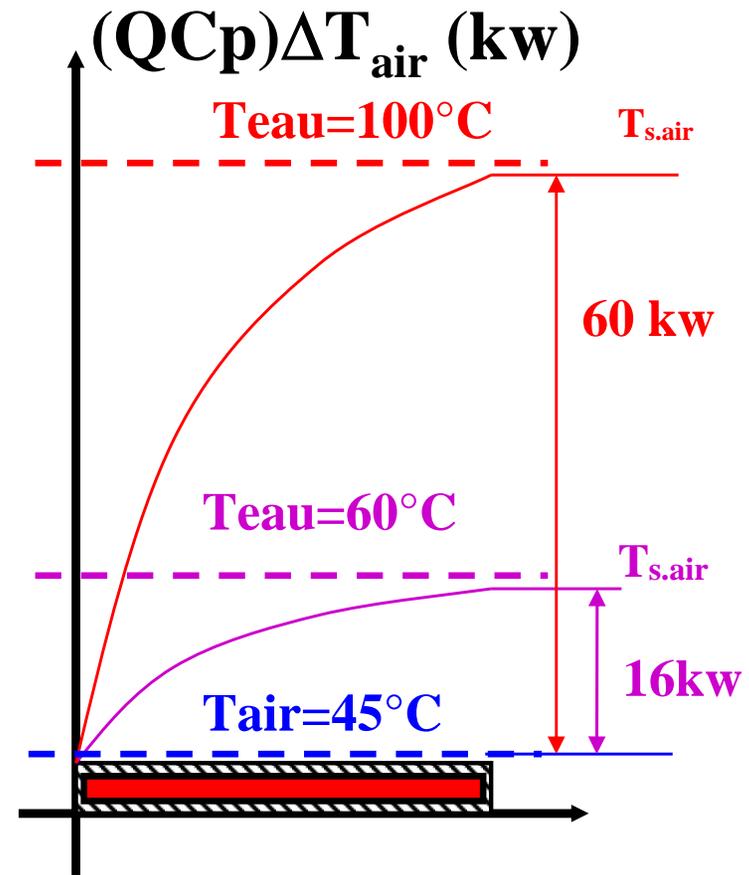
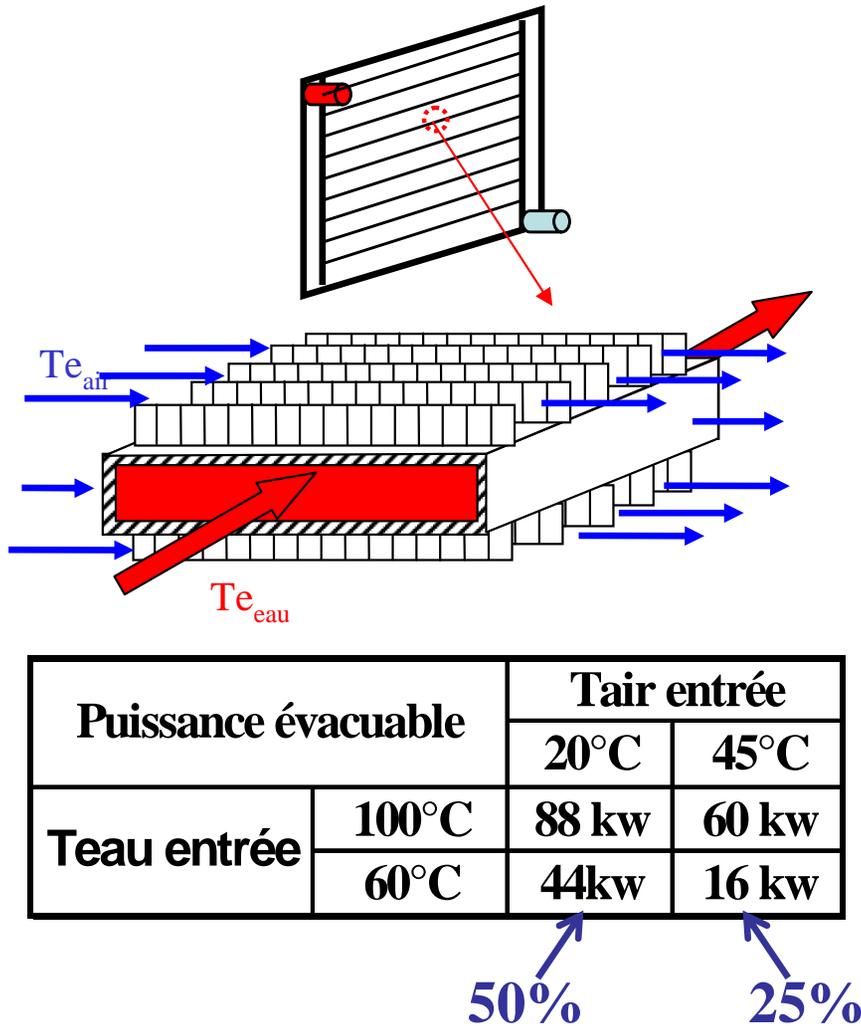


➔ **Puissance élevée, température faible** ➔ **Radiateur 3X+performant**



2. Remarque sur l'échange thermique à basse $t^{\circ}\text{C}$

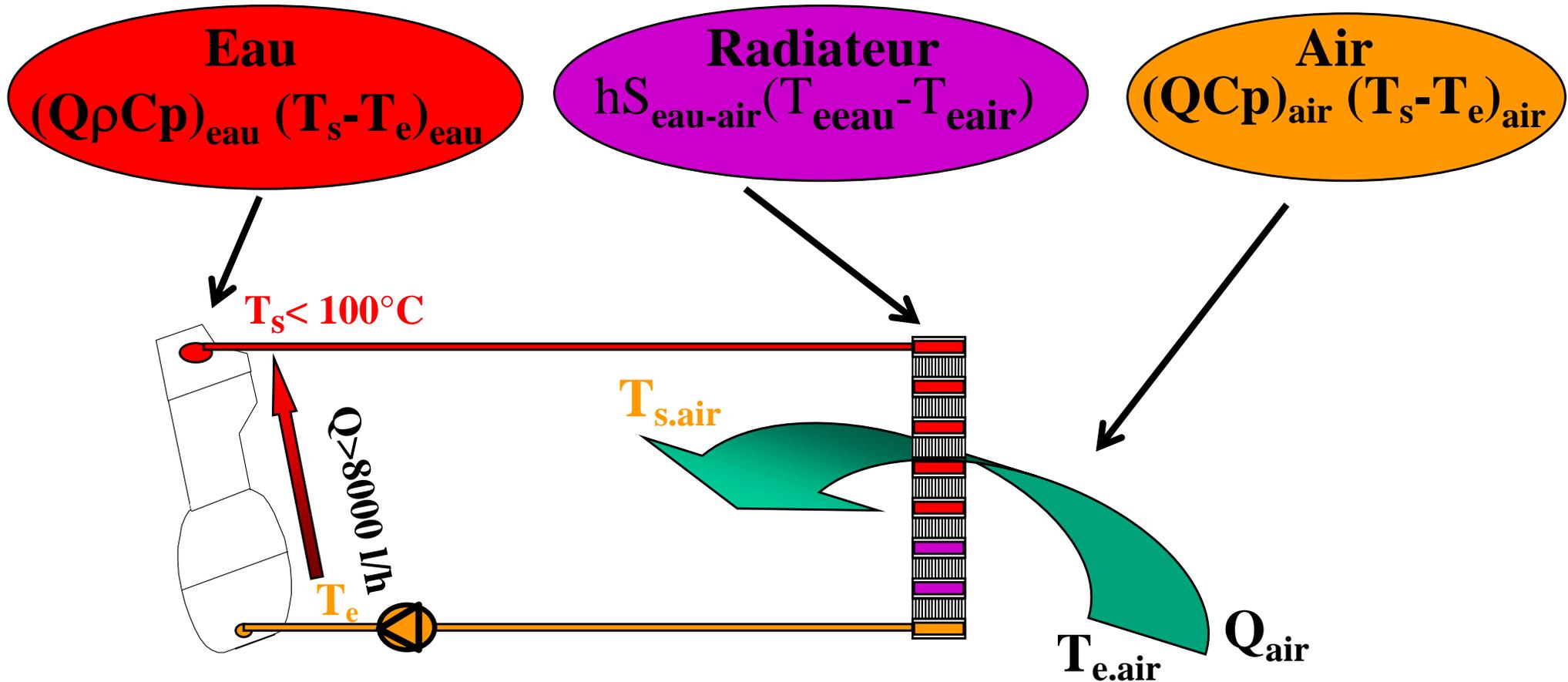
$$P_{\text{évac}} = hS_{\text{eau-air}}(T_{\text{eau}} - T_{\text{air}}) = (QCp)_{\text{air}}(T_s - T_e)_{\text{air}}$$



La difficulté thermique est amplifiée par la faible niveau de T° du système



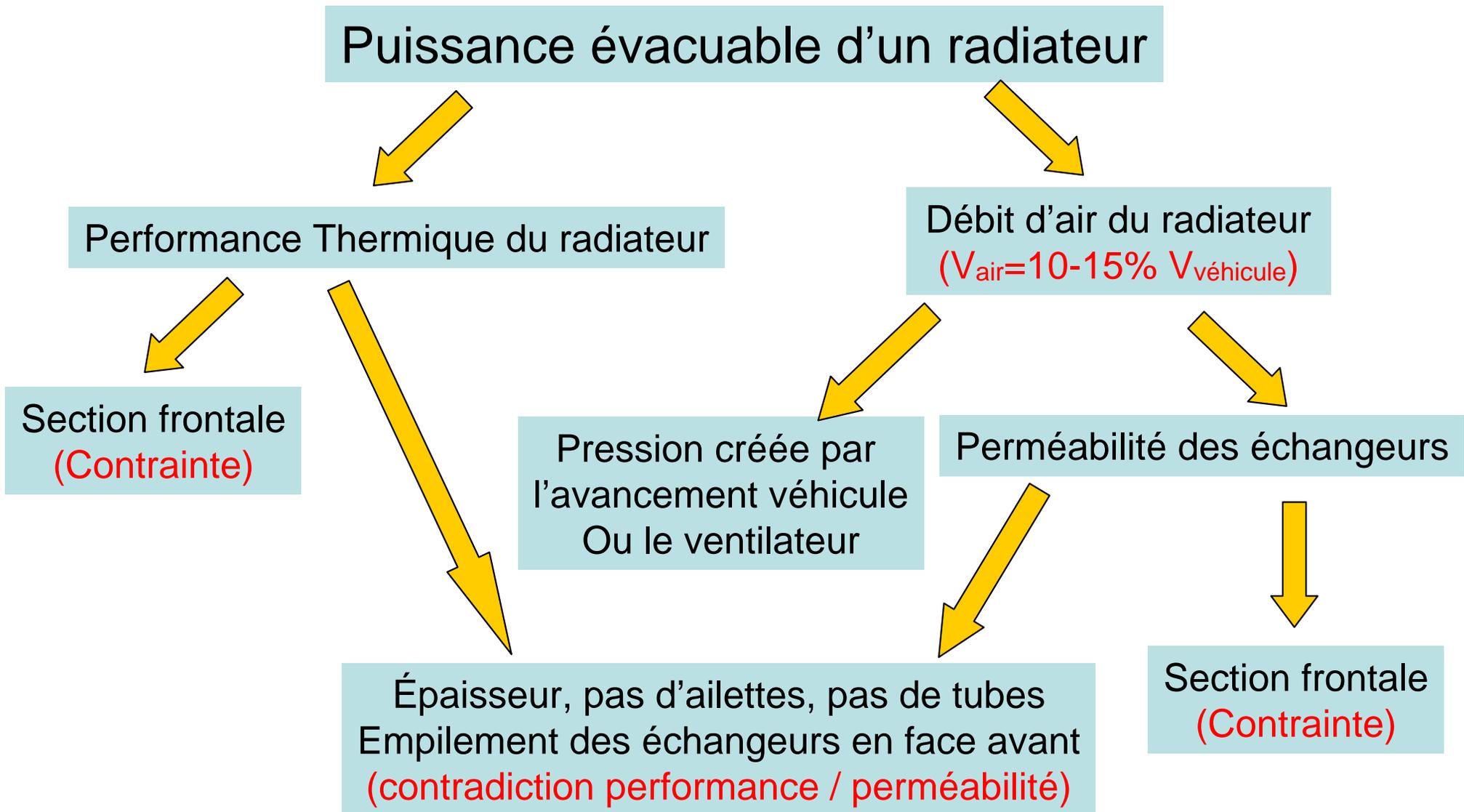
Contraintes véhicule – Introduction: le transport des calories



L'ensemble de calories doit être évacué par l'air



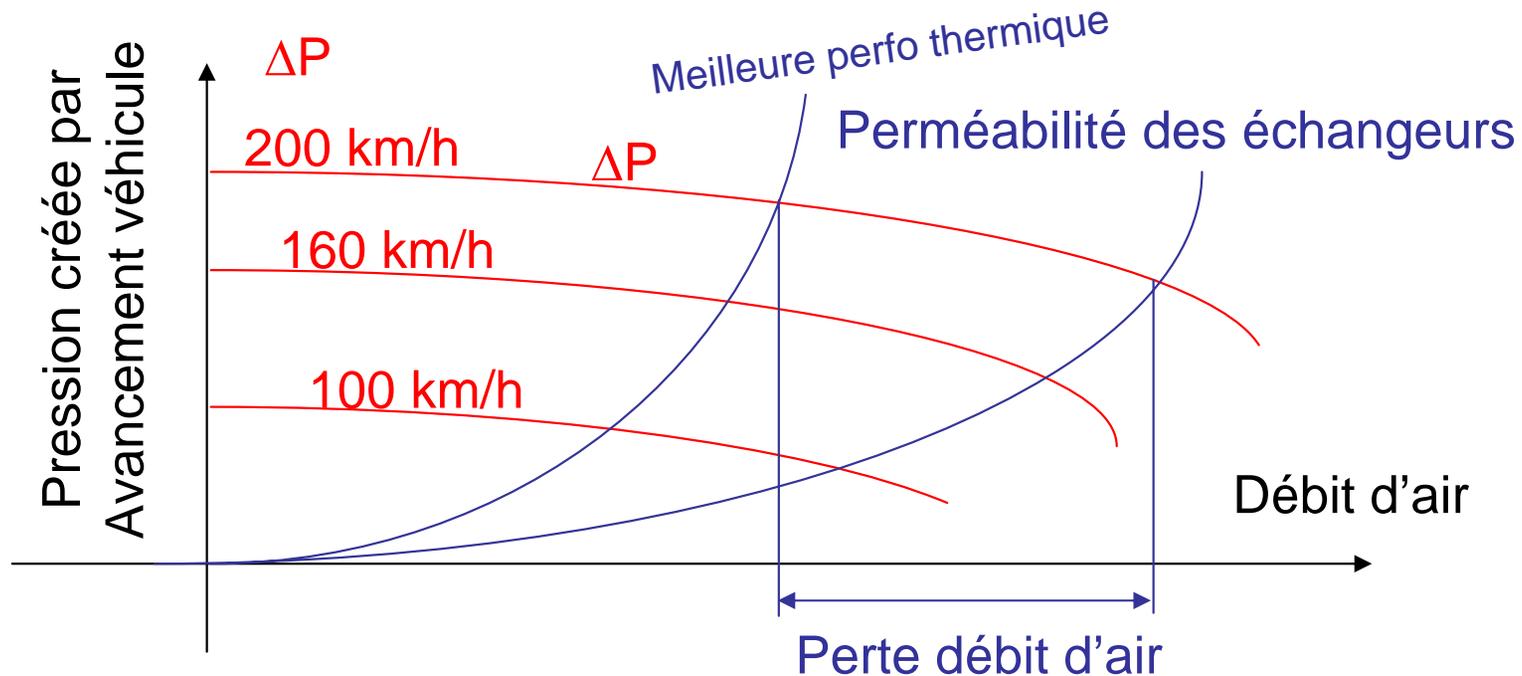
2. Contraintes véhicule: échange thermique avec l'air





2. Contraintes véhicule: la pression créée par avancement véhicule: entrée d'air, C_x

- Vitesse d'air du radiateur = 10 – 15% de Vitesse véhicule
 - **Limitation par la pression créée par l'avancement véhicule (entrée d'air, C_x ...)**
 - **Limitation par la perméabilité des échangeurs: Échangeur performant en thermique = Échangeur moins perméable**
- **Donc limitation du débit d'air et de $(QC_p)_{air}$**
- Nécessité d'optimiser la performance des échangeurs et leur perméabilité





- **Pile + Reformeur ont besoin de l'eau désionisée:**

- Autonome en eau:
 - Forte puissance (refroidissement de gaz d'échappement)
 - Faible niveau de température de refroidissement
- Gel à température négative
- Corrosion liée à l'eau désionisée et compatibilité des matériaux

- **Les composants conventionnels sont incompatibles avec l'exigence de la Pile :**

- Un liquide de refroidissement de faible conductivité électrique
- Les canalisations et les échangeurs doivent être en inox



Nouveau liquide de refroidissement



2. Démarrage à froid et d'autres contraintes thermiques

■ Démarrage à froid:

- Le Stack représente 60% de l'inertie thermique du système
- L'inertie thermique du système PàC est la double d'un moteur thermique,
=> mise en température lente
- Rendement du stack + 1% toutes les +10°C entre 20 et 80°C
=> 2% sur consommation en carburant toutes les 10°C

■ Température négative

- Gel du système d'eau désionisée
- Comportement stack

■ Liquide de refroidissement antigel, anti-corrosion, et de faible conductivité électrique, compatible avec le stack

■ Homogénéisation de température du stack, contrôle de température de gaz



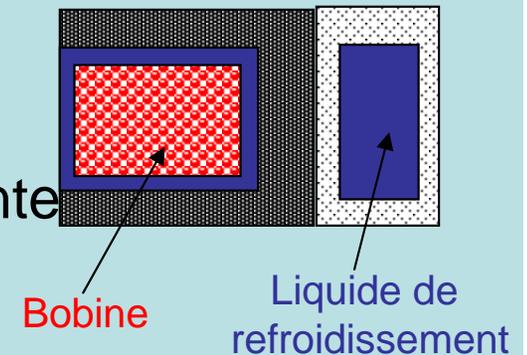
3

Organes de traction électriques



□ Machine électrique:

- **Résistance thermique importante**
 - Conductivité thermique transversale équivalente de l'ordre de 1 au lieu de 340 w/°C/m
 - Résistances thermiques en série
 - Point chaud: Têtes de bobine
- Refroidissement à eau: compacité, performance
- Rendement diminue avec la température
- Limite en température de bobine: **refroidissement à basse température (50-70°C)**



□ Électroniques de puissance:

- Refroidissement à eau: compacité, performance
- Limite en température de jonction (normalement à 120°C)
- Fatigue thermique: éviter les oscillations de température du liquide refroidissement
- Limite en température de jonction: **refroidissement à basse température (50-70°C)**



□ Batteries:

- Plage de fonctionnement: 0 – 50°C: un chauffage serait nécessaire à grand froid
- Rendement et durée de vie fortement liés fortement à la température
- Quantité de puissance est relativement limitée
- **Refroidissement à air:**
 - Extraction de l'air de l'arrière de l'habitacle (climatisé): Toyota Prius 1&2;
 - Évaporateur additionnel à l'arrière: Honda Civic IMA; Ford Escape
- **Refroidissement à eau:**
 - Circuit d'eau avec un radiateur (Renault démonstrateur Master électrique)
 - Circuit d'eau avec un radiateur + un évaporateur additionnel



4

Thermique de l'habitacle



• Chauffage de l'habitacle et désembuage/dégivrage:

Nécessité de 2 à 6 kw thermique selon la température ambiante

- Calories disponibles proche ou moins d'un véhicule conventionnel, mais avec des sources diverses
- Inertie thermique double d'un moteur thermique
=> **Doubler le durée nécessaire pour atteindre le confort thermique**
- Nécessité d'un chauffage d'appoint à température négative

• Climatisation

- Nécessité d'un compresseur électrique de 3 kw électrique

• **Avantage du système PàC: disponibilité d'une source haute tension => réduction de coûts des organes électriques**



5

Conclusion / perspectives



- ❑ Optimisation du système de refroidissement: meilleur circuit selon les contraintes thermiques, gestion thermique du système...
- ❑ Recherche d'un liquide de refroidissement spécifique (antigel, anti-corrosion, et de faible conductivité électrique) pour pouvoir utiliser des composants conventionnels
- ❑ Optimisation du système pour le fonctionnement à température négative, et lors de la mise en température
- ❑ Recherche des solutions économiques de chauffage de l'habitacle et du stack



- Augmentation de la température de fonctionnement du système: Pile haute température: 110-120°C ou plus afin d'augmenter la capacité du système de refroidissement
- Amélioration du rendement du stack
- Humidificateur performant, compact, et à faible perte de charge
- Étude et modèles couplés en thermique, aéraulique, et pneumatique du système complet