

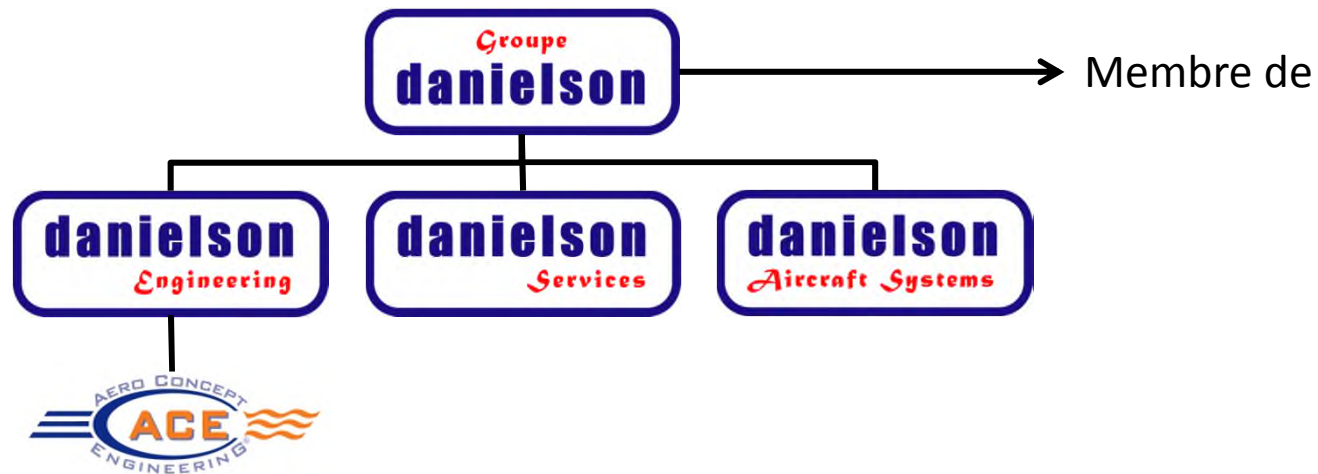
Développement de nouveaux convertisseurs d'énergie:

Etude du moteur Stirling

Bert Juliette
Ingénieur R&D
juliette.bert@danielson-eng.fr

24 janvier 2013

- **Présentation Danielson Engineering**
de l'étude au démonstrateur
- **Développement de nouveaux concepts moteurs**
augmentation des rendements, valorisation d'énergie
- **Etude du moteur Stirling**
un ancien concept remis au gout du jour
- **Applications envisageables**
stationnaire, embarqué, convertisseur multi-carburant
- **Etude d'un moteur pour une application donnée**
optimisation pour répondre à un cahier des charges



EVEREST TEAM est un groupement d'intérêt économique regroupant 7 entreprises avec des compétences complémentaires dans les secteurs de l'automobile et des transports:

- ⇒ Une expertise complète de la recherche à la fabrication
- ⇒ 15 ans de compétences reconnues (200 employés),
- ⇒ Gestion de projets en Recherche et Innovation.





Entreprise d'ingénierie estampillée SCR (Société sous Contrat de Recherche)

Spécialisé dans la conception, la fabrication et le développement de moteurs prototype pour la validation de nouveaux concepts de motorisation.

Intégration totale avec un département recherche, calcul, et des moyens rapides de fabrication(fonderie, usinage)



Essais de véhicules

Gestion de projet multi métiers dans le domaine mécanique

Projet d'obsolescence

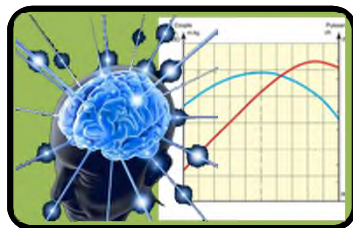


Développement du projet Trident

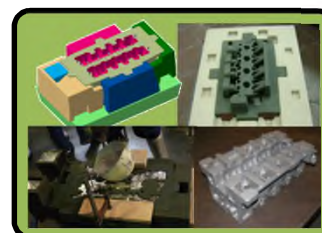
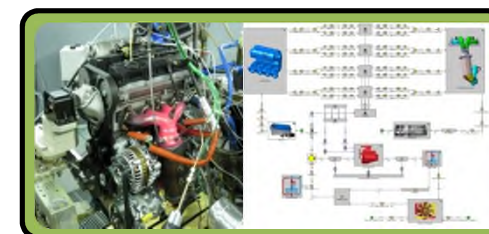
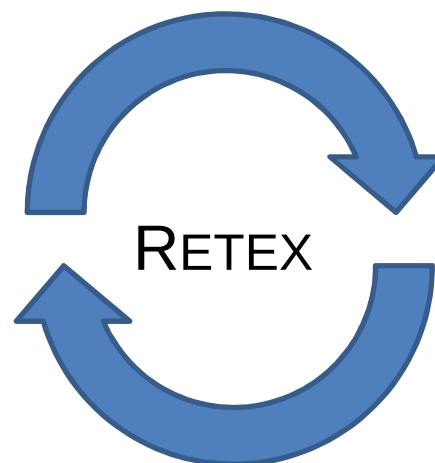
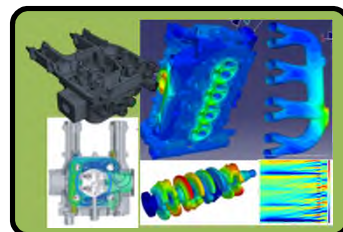
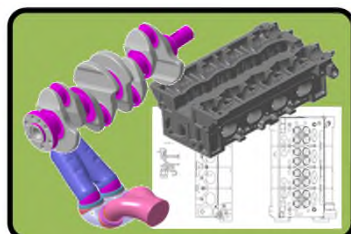
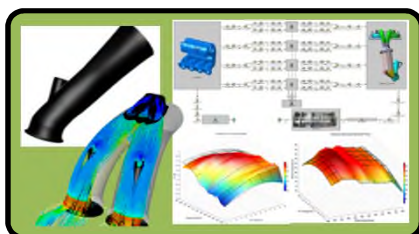
Développement d'un moteur d'avion

Etude de l'adaptation pour des applications spécifiques aéronautiques



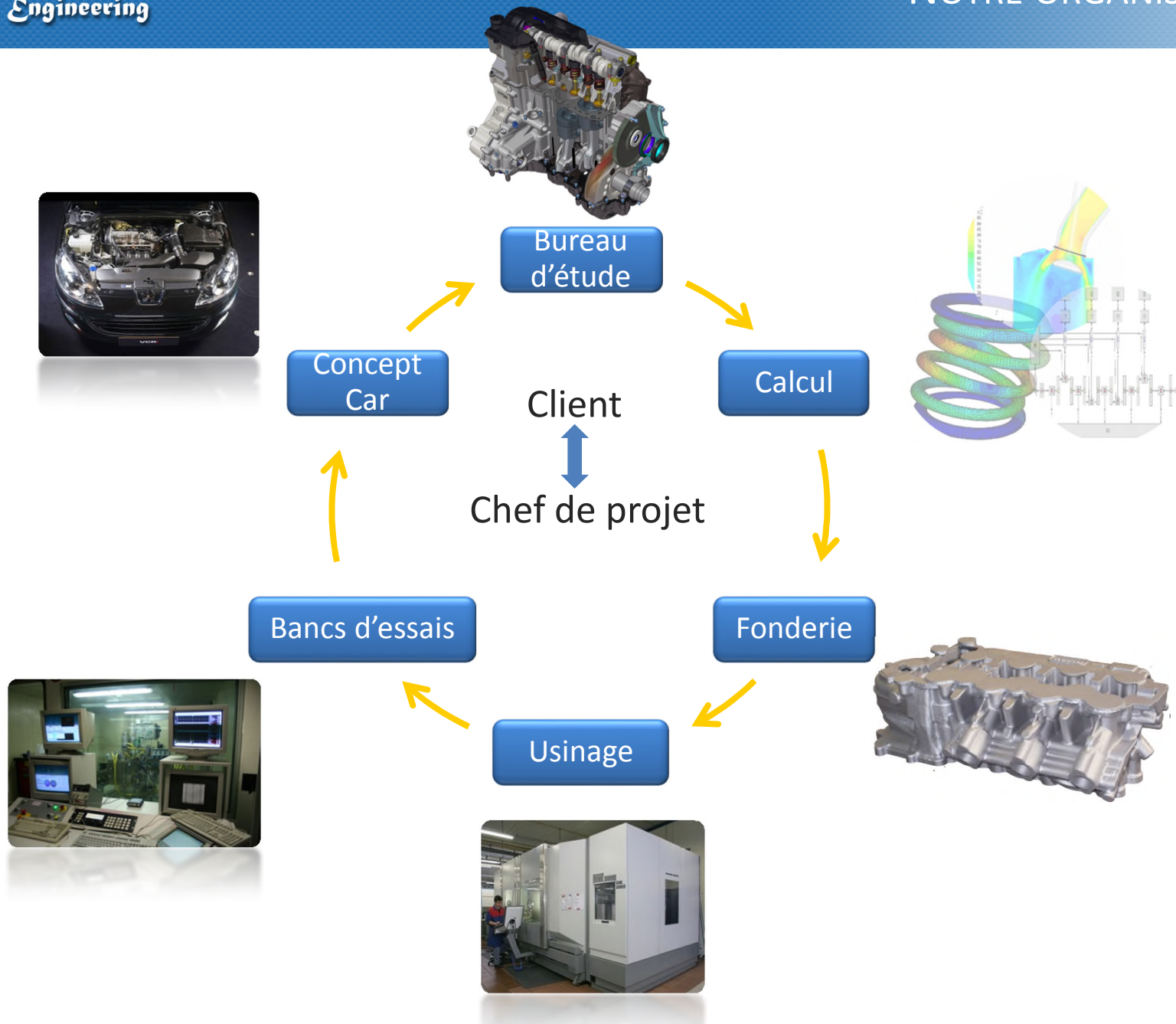


Depuis la conception... jusqu'au démonstrateur technologique



Conception,
Optimisation,
Développement
& Fabrication

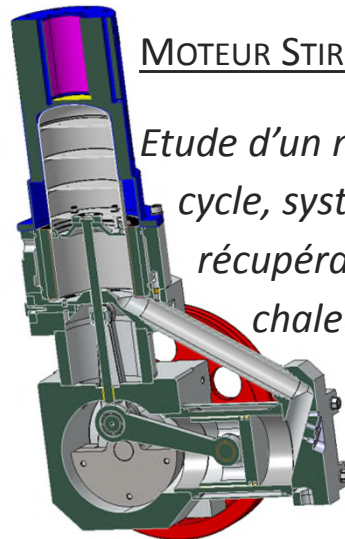
Assemblage,
Tests &
Intégration





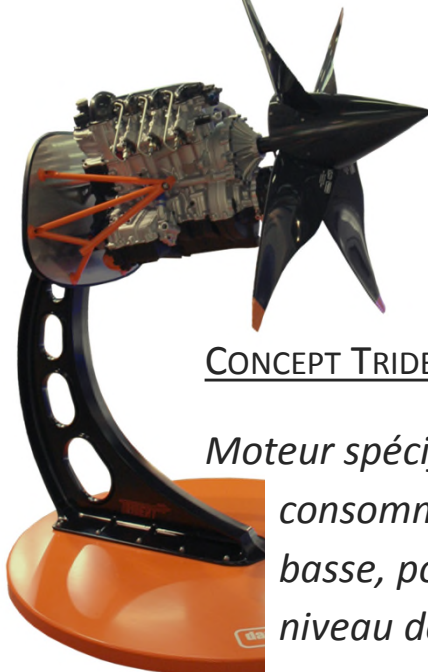
MOTEUR MCE-5

Moteur à taux de compression variable



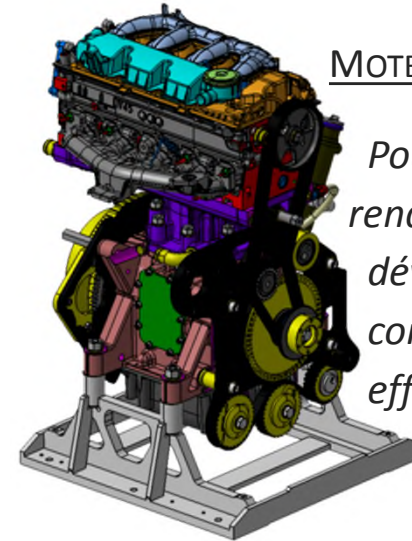
MOTEUR STIRLING

Etude d'un nouveau cycle, système de récupération de chaleur



CONCEPT TRIDENT

Moteur spécifique pour UAV, consommation spécifique basse, poids faible et haut niveau de fiabilité

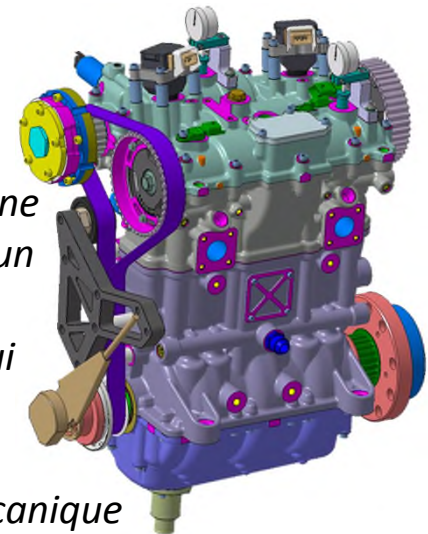


MOTEURS MONOCYLINDRE

Pour améliorer le rendement de combustion et développer de nouveaux concepts ou réduire les efforts de friction

MOTEUR 5-TEMPS

Moteur 3 cylindres en ligne turbocompressé offrant un dispositif dédié pour une détente additionnelle, qui permet une meilleure conversion de l'énergie thermique en travail mécanique

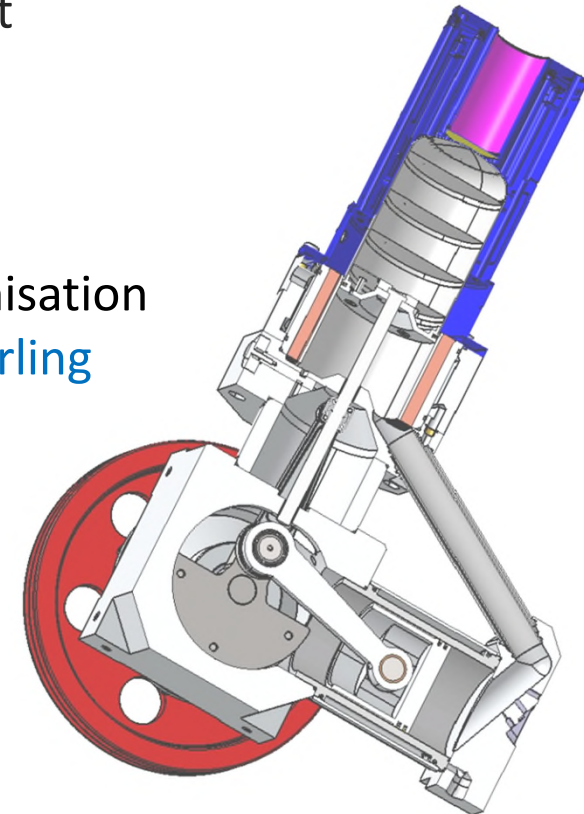
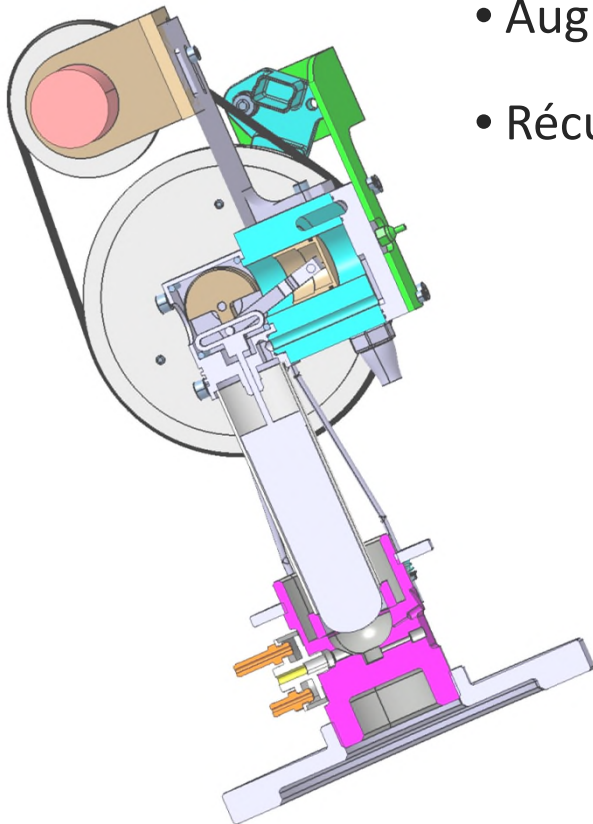


Le contexte **économique** et **écologique** actuel nous oblige à développer des **convertisseurs d'énergie** toujours **plus performants**.

- Augmentation du rendement
- Récupération d'énergie

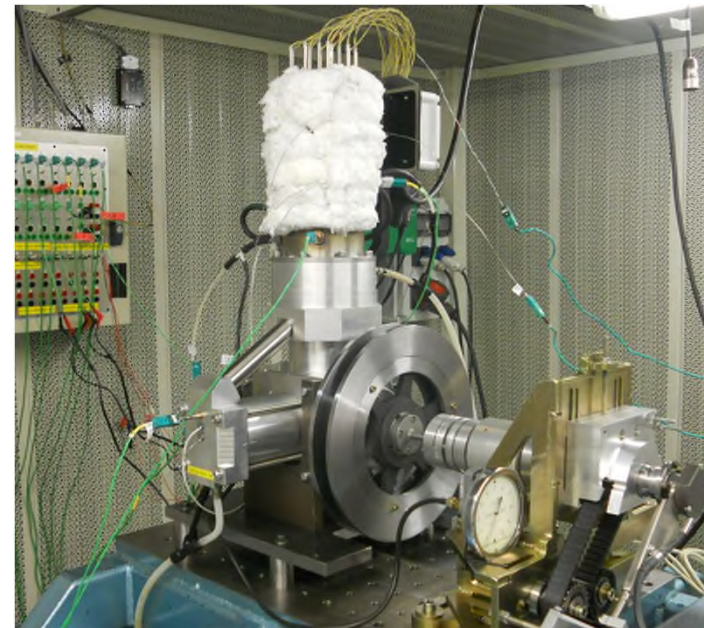
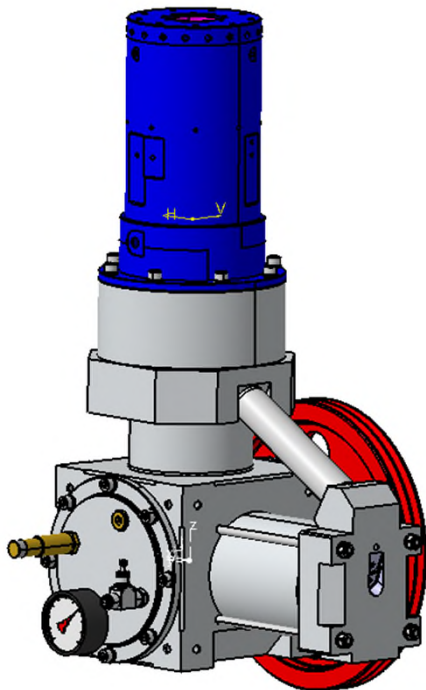


Etude et optimisation
de moteurs **Stirling**



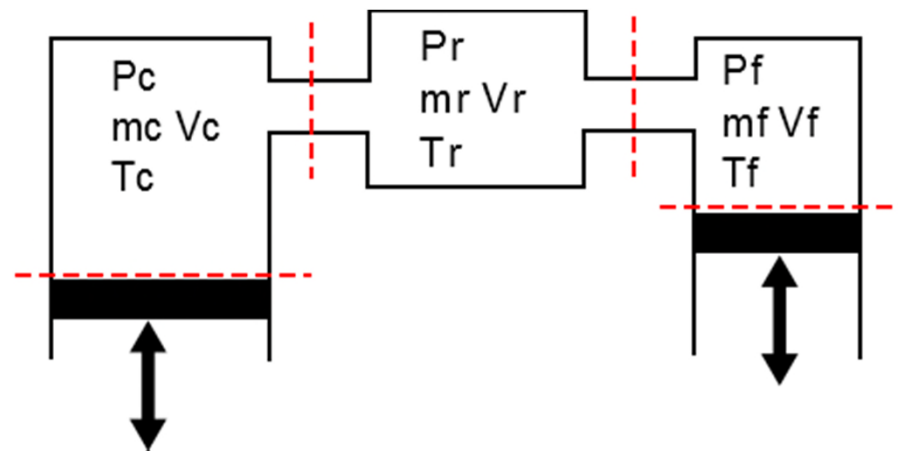
L'étude menée associe une approche **numérique** à une approche **expérimentale**

- Développement d'un **modèle numérique 0D** de moteur Stirling
- Mise en place de **dispositifs expérimentaux** de moteurs Stirling



Développement d'un modèle 0D de moteur Stirling

Division du moteur en 3 zones: chaude - froide – régénérateur



Le calcul de la **pression**, de la **masse** et de la **température** du gaz dans chaque zone prend en comptes les **variations de volumes**, les **échanges thermiques** avec les parois et les **échanges massiques** entre les différentes zones.

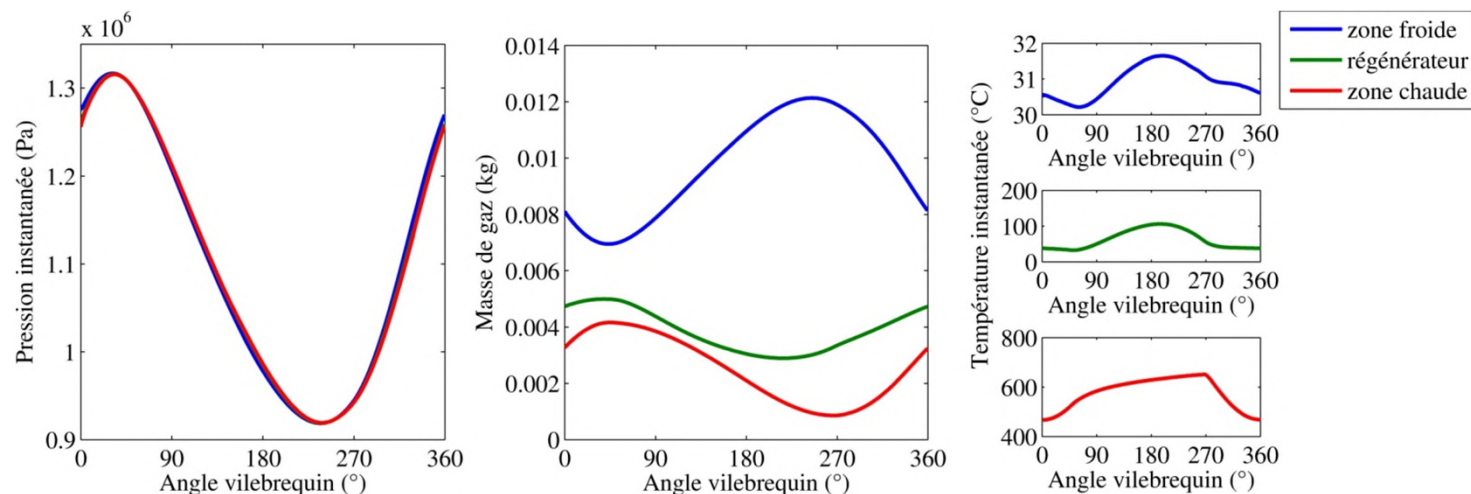
Cœur du modèle

3 équations définissent l'état thermodynamique du gaz dans chaque zone

Loi des gaz parfaits $m \cdot r \cdot dT + r \cdot T \cdot dm - V \cdot dp = p \cdot dV$

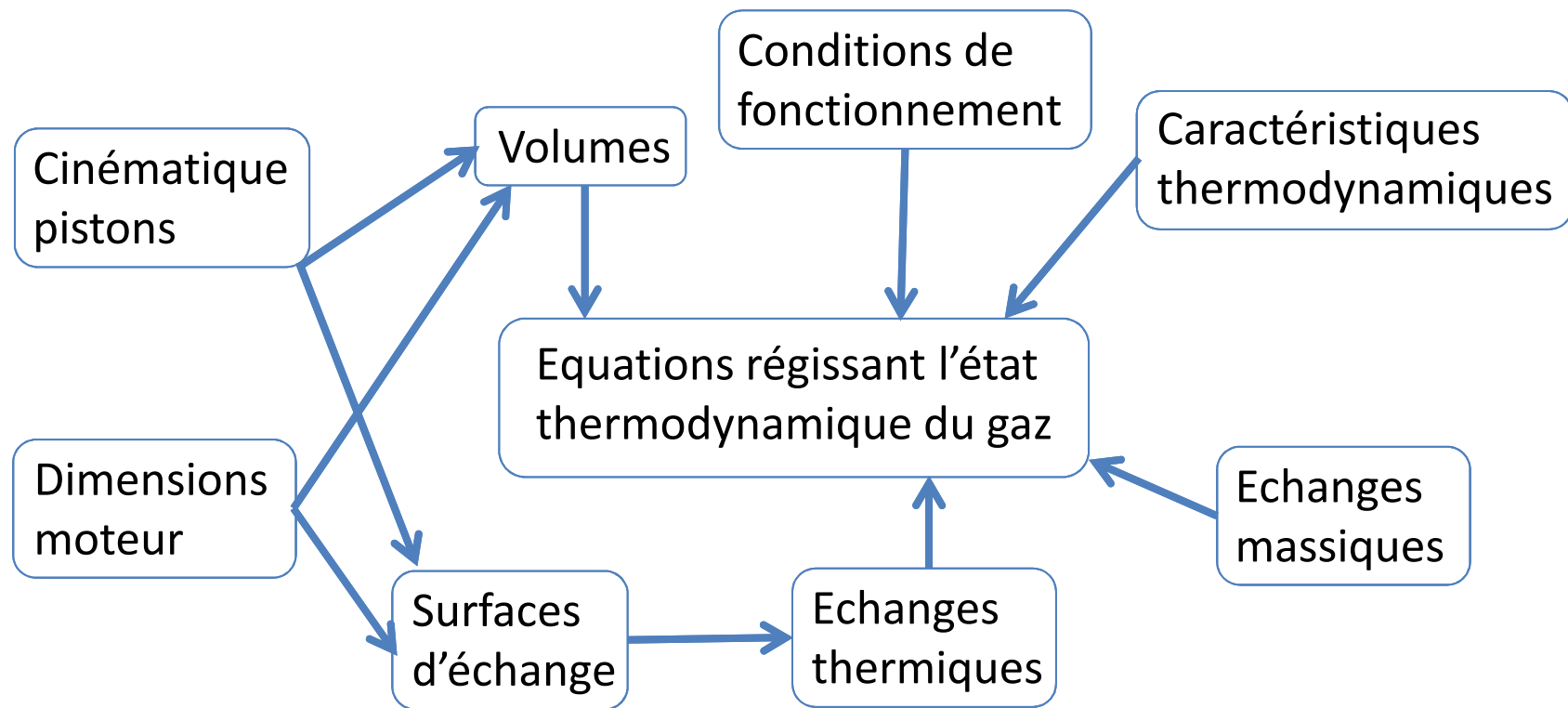
Conservation de l'énergie $u \cdot dm + m \cdot du - h \cdot dm = -p \cdot dV + \delta Q$

Conservation de la masse $\sum dm = dm_{fuites}$



Architecture du modèle

La modularité du modèle facilite son adaptabilité



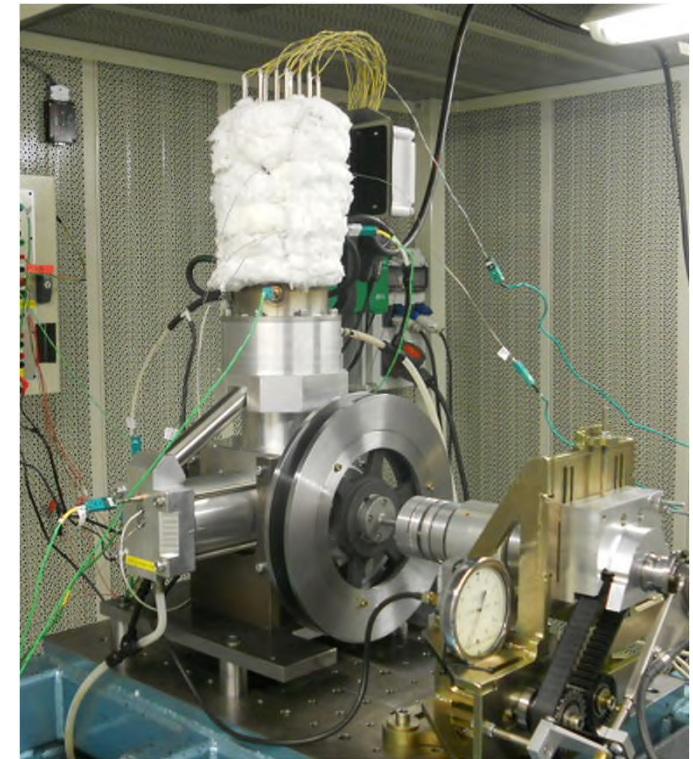
Mise en place de dispositifs expérimentaux

2 moteurs Stirling ont été testés pour **confronter le modèle à des résultats expérimentaux**



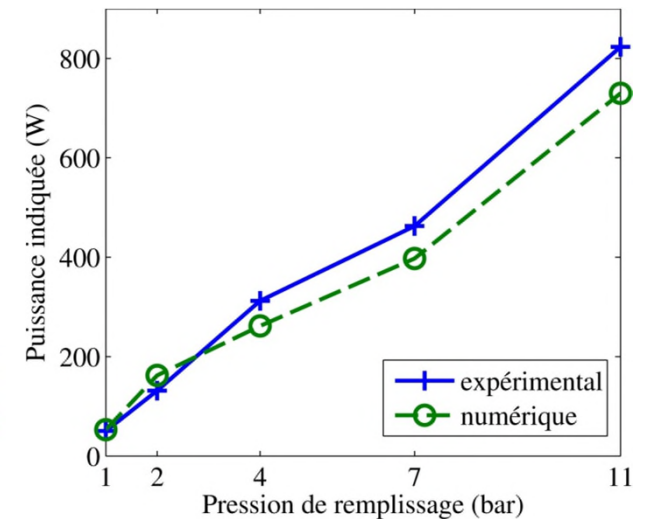
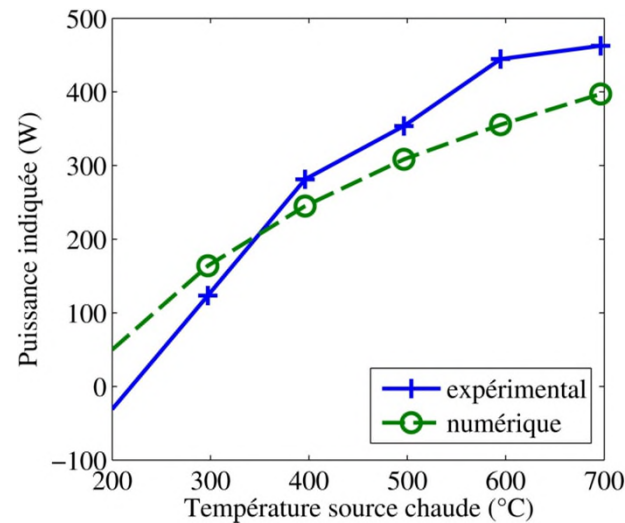
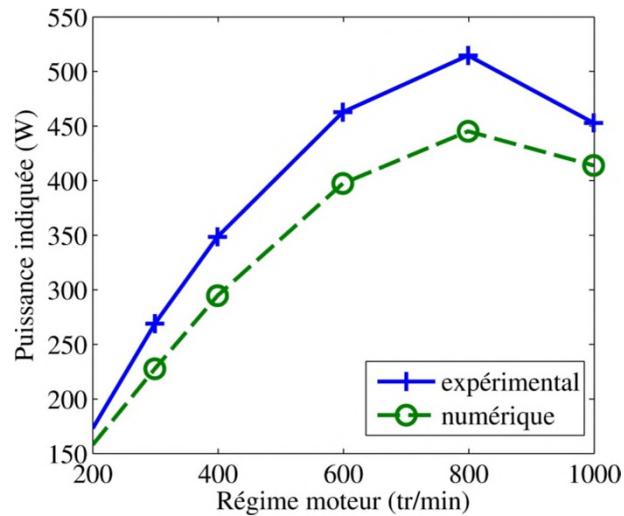
Mesures:

- pressions instantanées
- températures instantanées
- températures parois
- énergie apportée
- couple mécanique
- régime moteur



Validation du modèle

Grâce aux essais, nous avons pu valider les résultats donnés par le modèle



Les caractéristiques intrinsèques des moteurs Stirling en font un convertisseur d'énergie pouvant s'adapter à **différentes applications**

- fonctionne avec de la chaleur → **valorisation d'énergie thermique**
- absence de soupape et de pic de pression → **fonctionnement silencieux** s'adaptant à une utilisation domestique
- fonctionnement en cycle inverse → **production de froid**

Définition du problème

L'association d'un algorithme d'optimisation au modèle permet une première ébauche d'un moteur Stirling.

Application: micro-cogénération

Contraintes: encombrement, température, pressurisation, ...

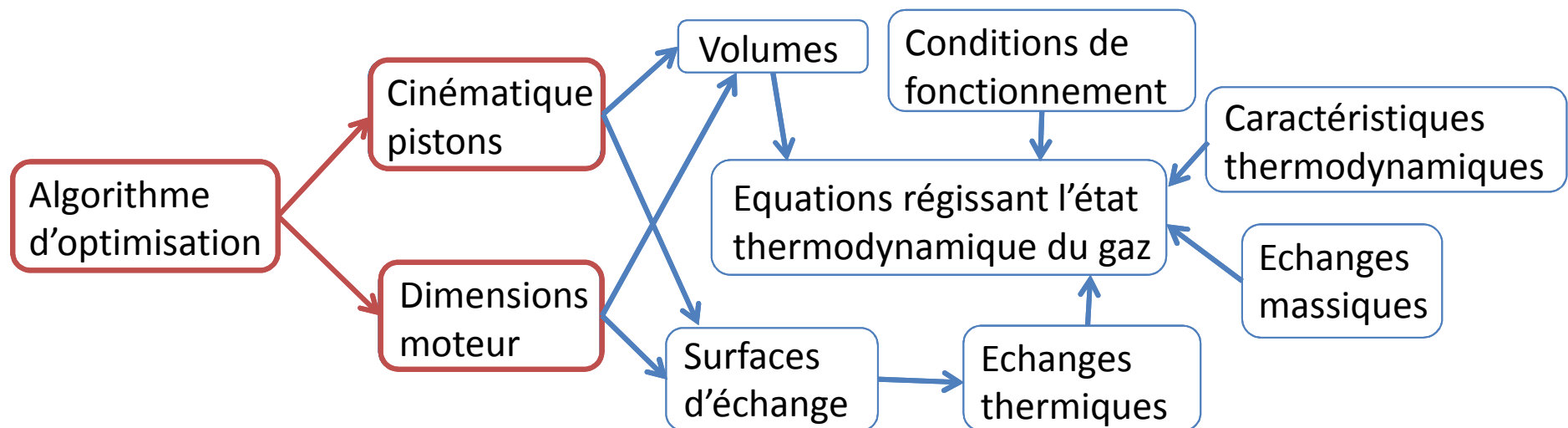
Caractéristiques à optimiser: rapport course/alésage, rapport d'alésage des deux pistons, déphasage des pistons, ...

Fonction à maximiser: rendement, puissance

Mise en place du calcul

Une fois les **contraintes et caractéristiques** du moteur définies pour **une application donnée**, elles sont intégrées au modèle grâce à un **algorithme d'optimisation**.

L'architecture modulaire du modèle développé facilite cette intégration. Certaines fonctions vont être pilotées par l'algorithme sans modifier le fonctionnement du modèle.

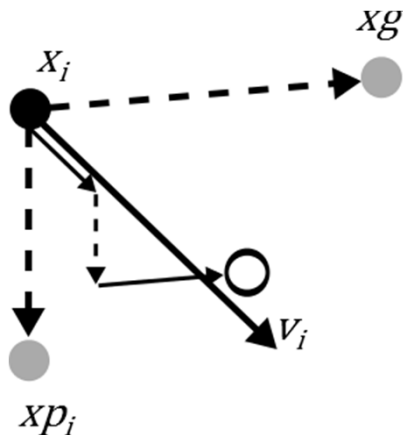


Fonctionnement de l'algorithme d'optimisation

Utilisation de l'algorithme d'optimisation par essaim de particules basé sur le mode de fonctionnement d'un essaim d'abeilles à la recherche de nourriture

Définition d'un espace d'optimisation ayant pour dimension le nombre de caractéristiques à optimiser

Différents « moteurs » vont explorer le domaine à la recherche de la configuration optimale

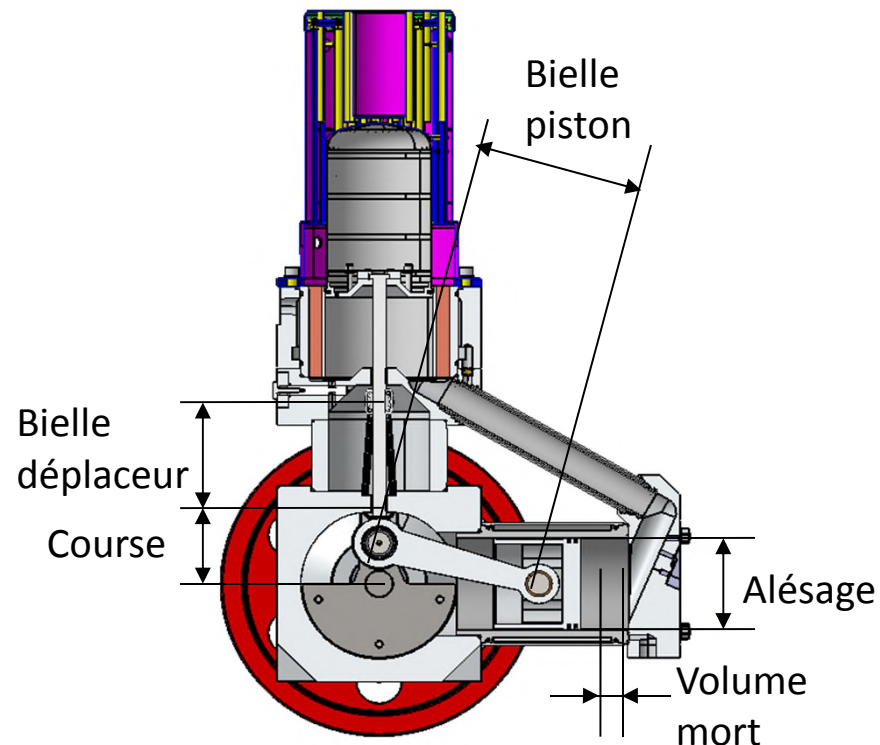


Le déplacement de chaque moteur est guidé par sa propre connaissance du domaine et celle de l'essaim



Exemple d'optimisation

Basé sur les **dimensions du moteur testé** au banc, nous avons cherché à **optimiser** certaines dimensions **en fonction de la température de source chaude**.



Conditions de fonctionnement

Régime moteur: **800 tr/min**

Température froide: **35°C**

Température chaude: **300°C**
550°C

Exemple d'optimisation

Température chaude (°C)	300°C	550°C
Course (mm)	47,84	72,59
Alésage (mm)	106,42	86,40
Bielle moteur (mm)	119,36	148,73
Bielle déplaceur (mm)	120,82	165,09
Rendement initial (%)	4,97	6,89
Rendement optimisé (%)	7,66	8,98

Les caractéristiques **optimales** d'un moteur dépendent de son **utilisation**.

Une étude générale du cycle de Stirling a été menée sans s'attacher à une application précise.

Cette étude initiale a permis de développer un outil d'aide à la conception pour de la première phase d'étude d'un moteur Stirling. Cet outil peut s'adapter aux différentes applications du moteur Stirling.

Les résultats ainsi obtenus rapidement servent de base à une étude complète.

