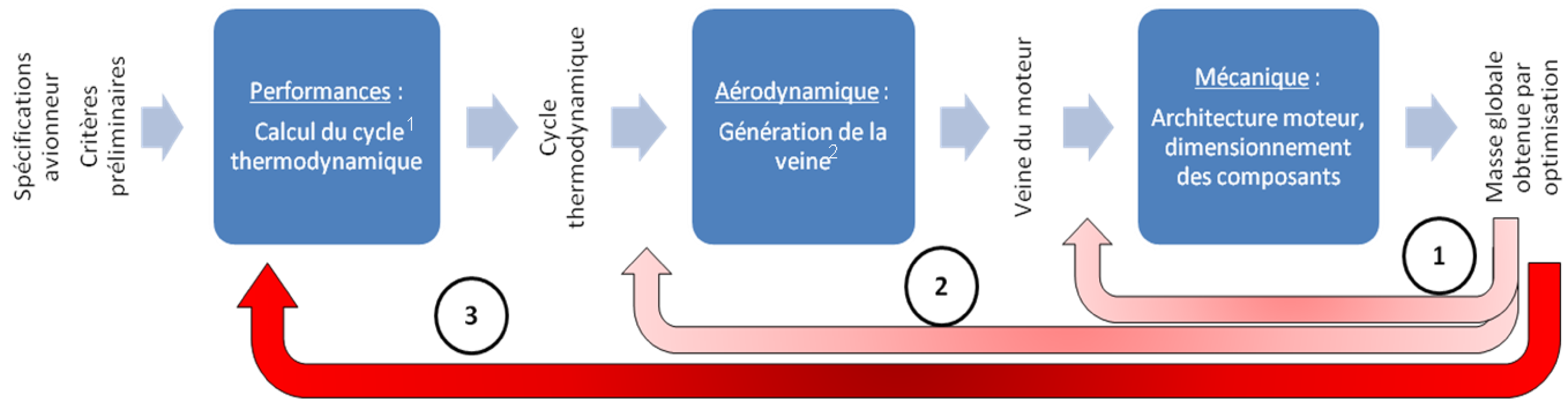
NOUVELLE MÉTHODE DE RÉSOLUTION DE PROBLÈMES INVERSES

{ M. BIRET, M. ACHIBI, A. ANFRIANI AND M. BRONIATOWSKI }
Safran Aircraft Engines - Université Pierre et Marie Curie

1 - PROBLÈME INDUSTRIEL : PHASE AMONT CHRONOPHAGE DANS LE DÉVELOPPEMENT MOTEUR

Le développement d'un nouveau moteur est lancé par la définition des spécifications par un avionneur. La première phase clé de ce développement est la phase amont de la conception : **la phase avant-projets**.

- **Objectifs** : assurer la réponse à l'appel d'offre de l'avionneur, proposer un moteur performant (poussée, masse, consommation, ...) selon les spécifications et fournir une première idée de l'architecture ou encore des coûts.
- **Processus itératif chronophage** en ressources informatiques et humaines



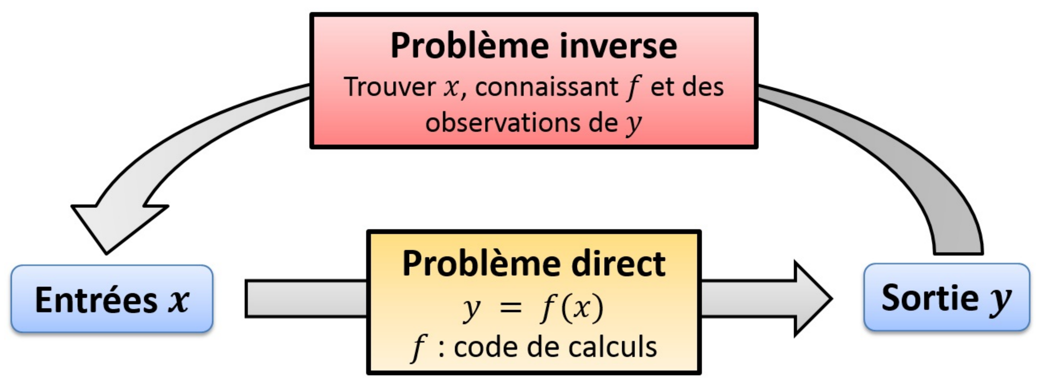
[1] jeu de variables représentant les performances à différents points de vol
[2] jeu de données représentant la géométrie du canal dans lequel le flux d'air circule

- division en trois disciplines majeures,
- une étape = une optimisation (maximiser une poussée, un rendement, minimiser une masse, etc) sous contraintes,
- enchaînement non linéaire des étapes : itérations entre métiers.

- **Exemple** : des infaisabilités mécaniques sont possibles à la fin de l'exécution des trois étapes, une ou plusieurs contraintes ne sont pas satisfaites. Trois solutions sont possibles, et ce autant de fois que nécessaire :
  1. relancer l'optimisation mécanique en allégeant certaines contraintes ou en augmentant les bornes de variation,
  2. remonter au niveau aérodynamique en modifiant la veine : seules les deux dernières étapes sont relancées,
  3. remonter au niveau thermodynamique en modifiant le cycle : dans ce cas, il faut refaire toutes les étapes.

OBJECTIF : réduire les coûts en terme de ressources informatiques et humaines de cette phase de conception

2 - PRINCIPE DES PROBLÈMES INVERSES MAL POSÉS



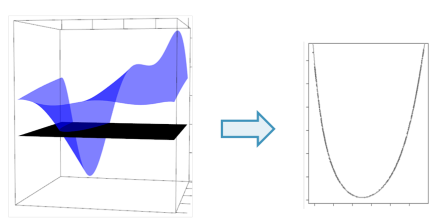
Pour des entrées x (au nombre de d par exemple), une (ou plusieurs) sortie(s) y et une fonction f, un problème inverse consiste à trouver x pour une valeur de y, connaissant f.

Considérant une valeur cible a pour une sortie d'intérêt unique y, le problème inverse peut s'exprimer simplement comme la résolution de l'équation

$$\mathbf{f(x)=a}. \qquad (1)$$

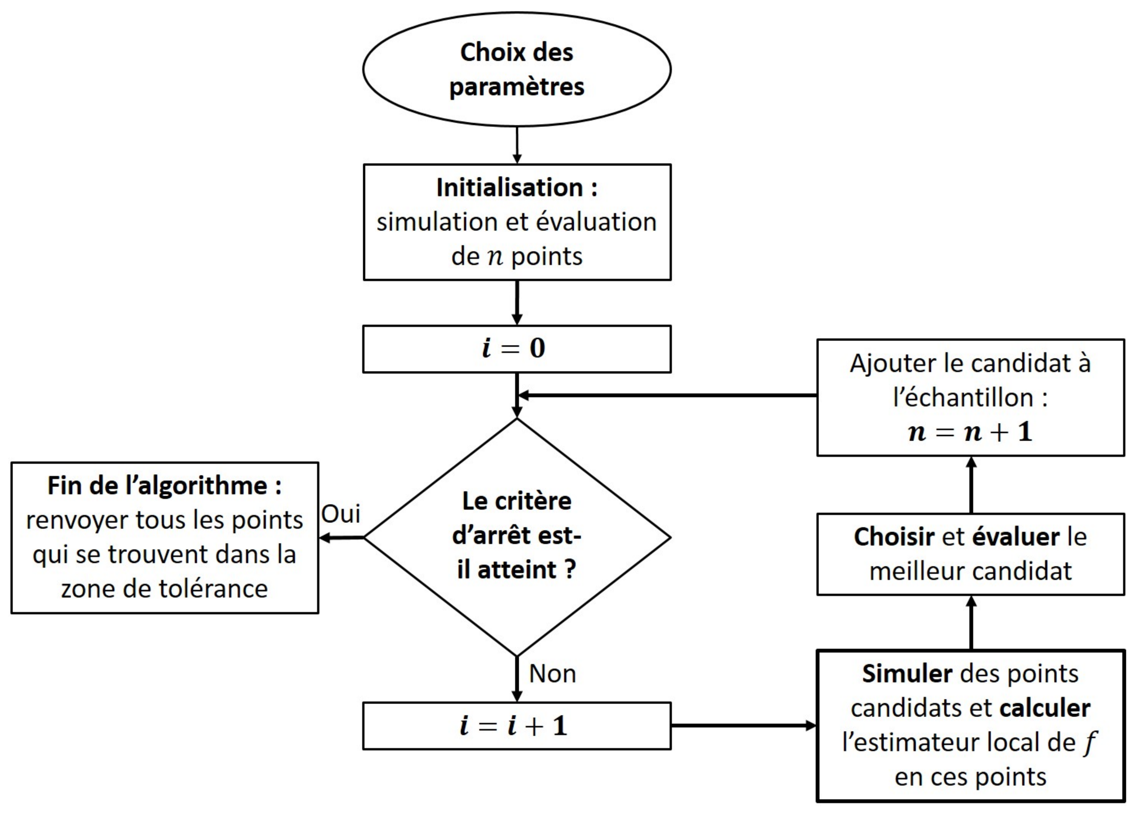
Un problème bien posé a une unique solution stable. De nombreuses méthodes ont été développées dans le but résoudre ces problèmes (cf. [1], [2]).

Mais le plus souvent, les problèmes inverses sont des problèmes mal posés. Ils ont par exemple une infinité de solutions.



3 - NOUVELLE MÉTHODE

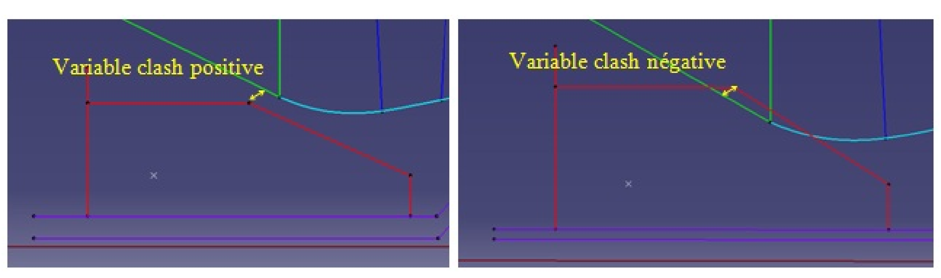
COMET (Constrained Optimization MEthod for Target achievement) est une méthode simple permettant d'obtenir des points proches de l'ensemble des solutions de (1), noté S. Ces points sont tels que $a-t \leq f(x) \leq a+t$, où t est la précision choisie.



A chaque itération, plusieurs candidats sont générés. Pour limiter le nombre d'appels à la fonction, un estimateur local permet de choisir le meilleur candidat pour s'approcher de S. La méthode s'arrête lorsque le nombre de points voulus est obtenu.

4 - RÉSOLUTION DU PROBLÈME INDUSTRIEL

L'optimisation mécanique peut conduire à un **problème d'intégration** : deux pièces sont en collision. Il s'agit de la contrainte la plus difficile à satisfaire, appelée clash.



Le **clash** doit être positif (pas de collision) et être le plus faible possible afin que les deux pièces ne soient pas trop éloignées (gain de place dans le moteur).

Pour éviter de relancer les étapes de la phase avant-projet, COMET est appliquée. Dans (1), f est le code de calcul donnant le clash et $a = t$. Les solutions obtenues vérifient $0 \leq f(x) \leq 2t$.

La méthode permet d'obtenir 10 points solutions, satisfaisant en plus toutes les autres contraintes du problème en un peu plus de 3 heures (environ 2 minutes par calcul).

COMET est plus efficace qu'une optimisation directe qui ne fournit qu'une solution.

5 - CONCLUSION

COMET est une méthode efficace et facilement applicable à tous types de problèmes inverses. Testée sur différents fonctions , elle s'avère généralisable à toute dimension et permet la résolution de plusieurs équations simultanément. Sans hypothèse forte sur f ou S, elle est utilisée directement sur codes de calculs, avec prise en compte des contraintes.

6 - PERSPECTIVES

L'application de COMET aux avant-projets fait l'objet d'un brevet déposé en France. Une variante, dont la convergence a été démontrée, est en cours de publication. Des perspectives sont la généralisation de la méthode à des cas bruités et la parallélisation pour accélérer les résolutions.

REFERENCES

[1] Christian Blum and Andrea Roli. Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 35(3):268–308, 2003.
[2] Endre Süli and David F. Mayers. *An introduction to numerical analysis*. Cambridge university press, 2003.

Email maeva.biret@safrangroup.com