

Projet PEPITO

Conception optimale d'hélices de ventilateur de voiture

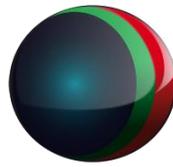
patrice.kiener@inmodelia.com - manuel.henner@valeo.com

Tel : +33.9.53.45.07.38

Séminaire NAFEMS France – Paris – 6 juin 2019

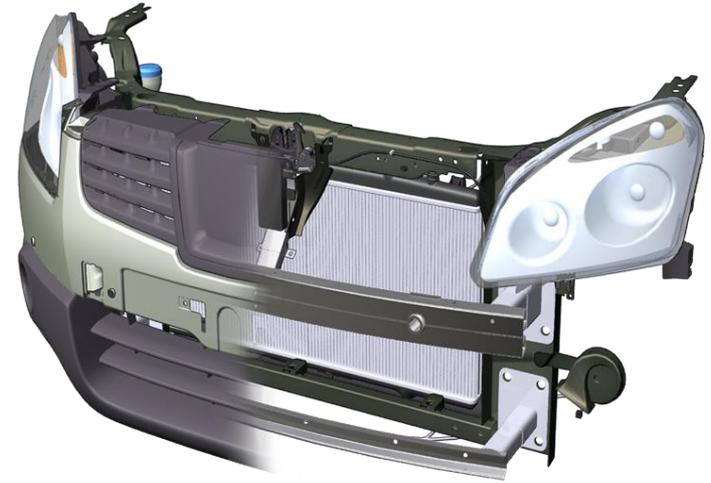


Valeo conçoit et fabrique l'avant des voitures

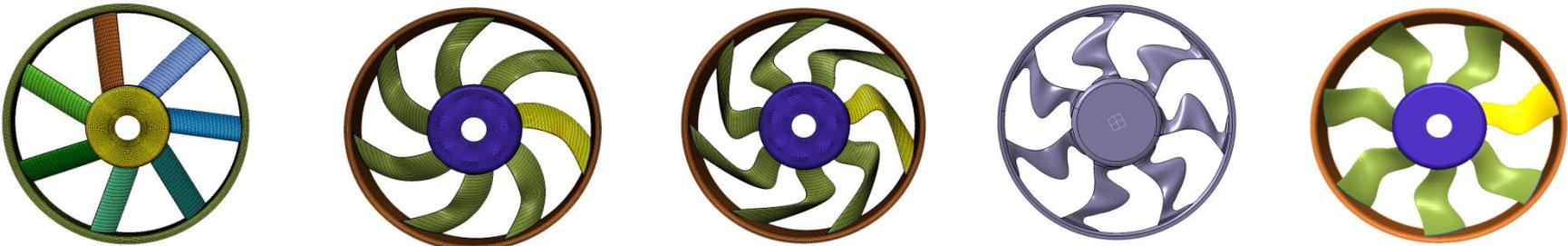


VALEO SYSTÈMES THERMIQUES

- Face avant d'une voiture
 - Modules de refroidissement
 - Échangeurs thermiques
 - Ventilateurs
 - Les hélices des ventilateurs

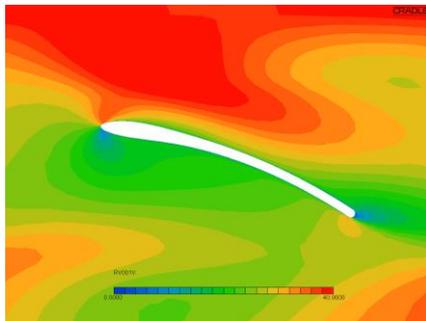
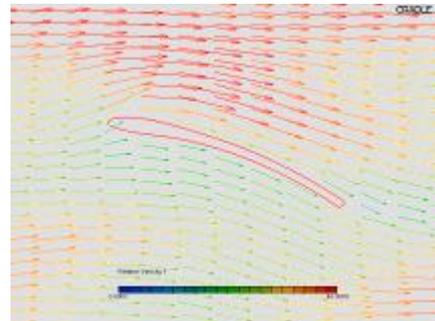
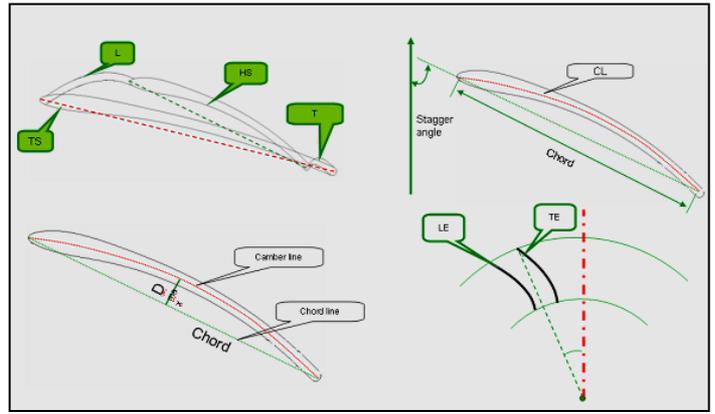


Quelle est la forme optimale des hélices ?



SOLUTION VIA DES SIMULATIONS NUMÉRIQUES DE 5 À 60 ENTRÉES

- Mécanique du solide
- Mécanique des fluides
- Plans d'expériences
- Sorties étudiées
 - Couple
 - Delta Pression
 - Rendement
 - Acoustique
 - Vibratoire
- Optimisation sur les méta-modèles
 - Réseaux de neurones
 - Modèles de krigeage



Retour sur la présentation NAFEMS 2010

InModelia + VALEO 13 octobre 2010

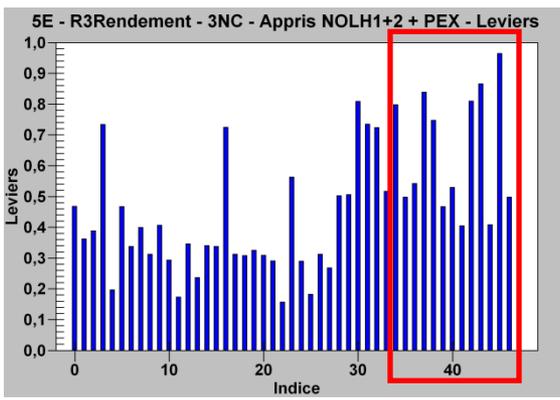
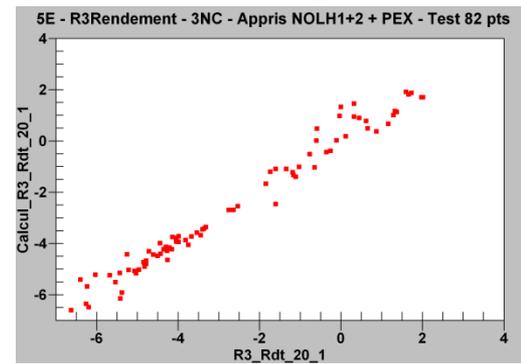
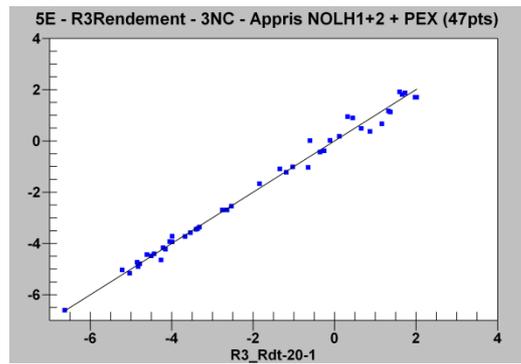


Plans d'expériences séquentiels + Réseaux de neurones à 5 entrées

Stratégie expérimentale :

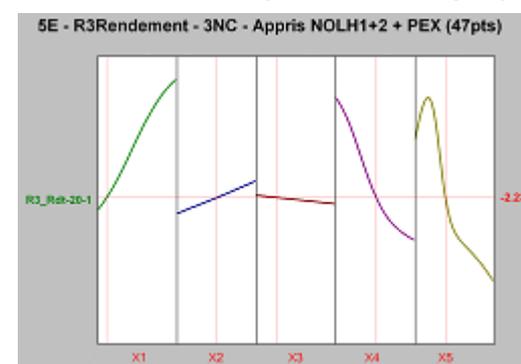
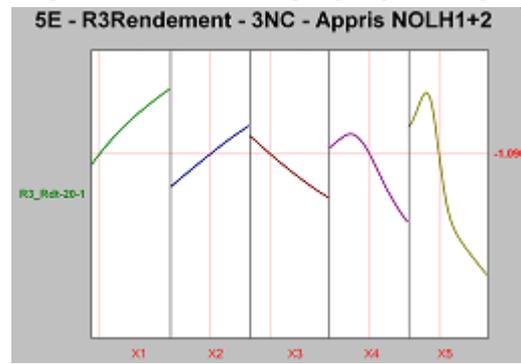
- **Étape 1 :**
Apprentissage sur plan NOLH à 33 points (pour 22 coefficients dans le modèle)
- **Test du RN à 3 NC sur tous les points**
Test sur le plan factoriel + autres points
- **NeuroPex a vu les zones critiques**
et recommande 12 nouveaux points à leviers (très) forts pour l'étape 2

Étape 2 : 5 entrées + RN à 3 neurones cachés -> Rendement
 App. NOLH1+2+PEX (33+2+12=47pts) Test 82pts

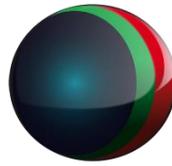


Rendement -> Dérivées locales du RN à 3NC (Sensibilité aux entrées)

Étape1 : NOLH1+2 (33pts) Étape2 : NOLH1+2+PEX (33+2+12=47pts)



Projet Pepito : De 11 à 60 entrées



Plans d'expériences et simulation numérique de 11 à 60 entrées

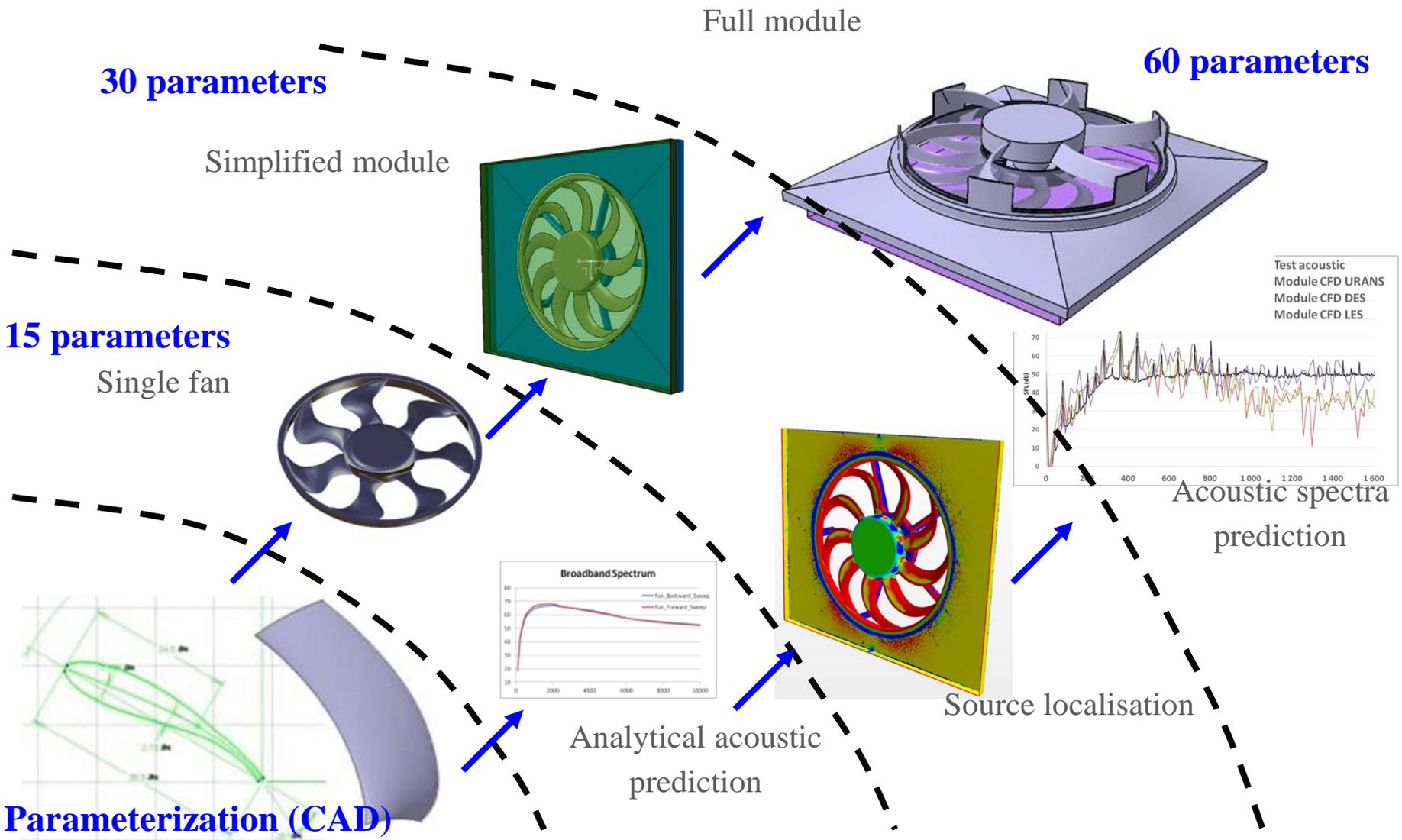
- Financement ANR sur la période 2014-2019
- <https://anr.fr/Projet-ANR-14-CE23-0011>

7 partenaires :

- VALEO : Conception et fabrication des hélices
- INTES France : Calcul des structures et acoustique
- InModelia : Plans d'expériences et réseaux de neurones
- École Centrale de Lyon :
 - LMFA : Mécanique des fluides et acoustique
 - LTDS : Tribologie et dynamique des systèmes
 - ICJ : Plans d'expériences et krigeage
- Institut de Mathématiques de Toulouse : Plans d'expériences et krigeage



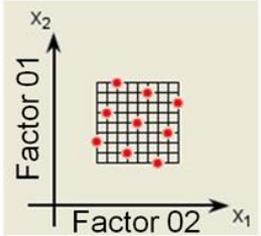
Projet Pepito : De 11 à 60 entrées (paramètres)



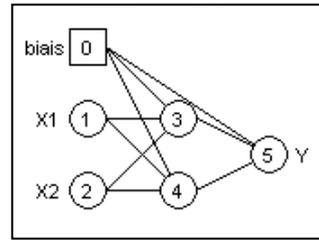
Pepito : Physique, Informatique, Statistique



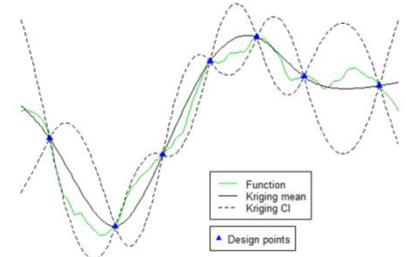
InModelia + ICJ



InModelia



ICJ + IMT



LTDS

Algo NGA-3

Calcul 3D (VALEO)

- Couple, Pression, Rendement
- Acoustique (1D + 3D)
- Logiciels commerciaux

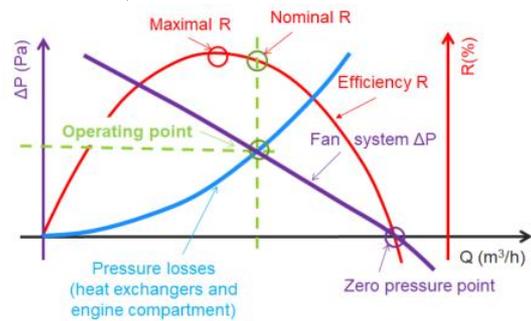
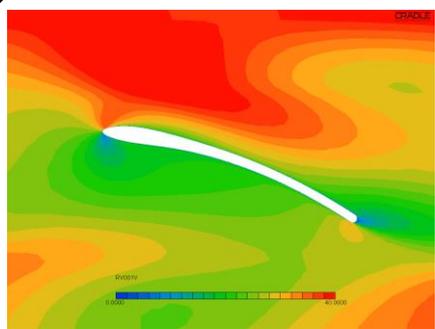
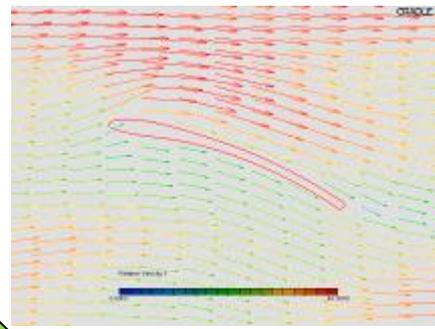
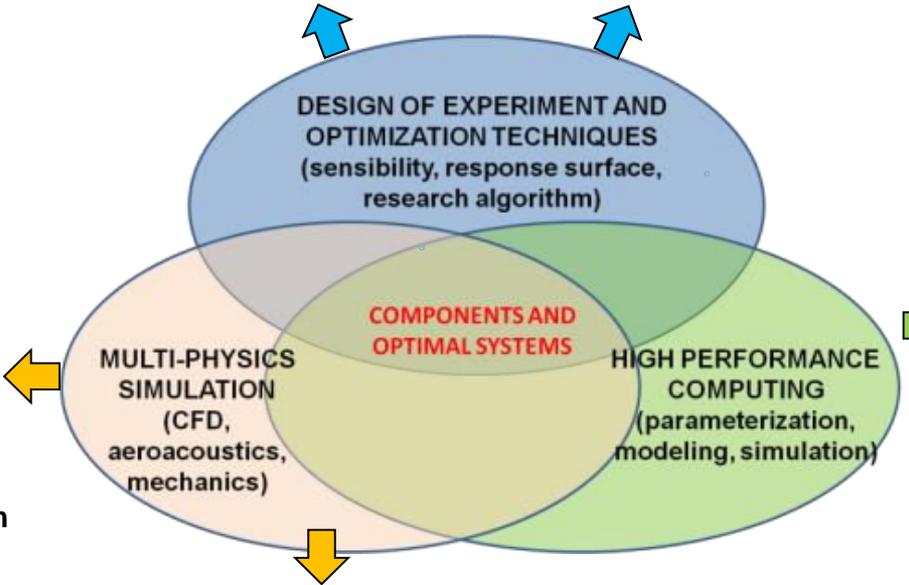
Calcul 3D (INTES)

- Déformation des structures
- Analyse modale
- Vibro-acoustique
- Logiciels PERMAS, OpenFoam

Calcul 1D (LMFA)

- Couple, DeltaPression, Rendement
- Python + R

$$\eta_{fan} = \frac{\Delta P \cdot Q}{C \cdot \Omega}$$

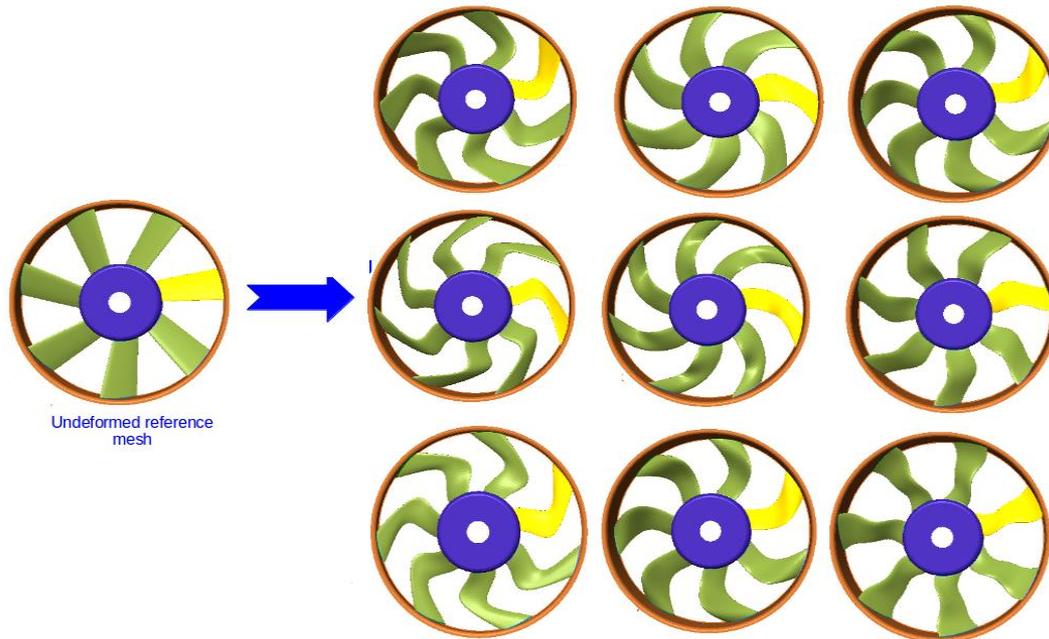




Simulation numérique

900 configurations d'hélices partagées par les différents participants

- **Morphing (INTES)**



- **Smooth transformations in space** that preserved the quality of surface mesh and the global structure mesh.

- **Large variations of some parameters** (up $\pm 50\%$ of initial value) have been successfully morphed.

- **Very low computational time** : The mesh morphing processing in PERMAS combined with structural analysis to **25h51 min for the 900 samples** (~ 1 min 44 sec for each run with static and modal analysis computation).

- **CFD (VALEO) => 3.000.000 heures de calcul**

RANS:

- ▶ Steady
- ▶ 1500 CPU.hours

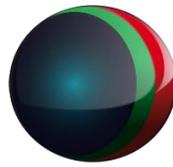
URANS: (SOLUTION RETENUE)

- ▶ Unsteady, time-step $\sim 10^{-5}$
- ▶ 6000 CPU.hours

DES:

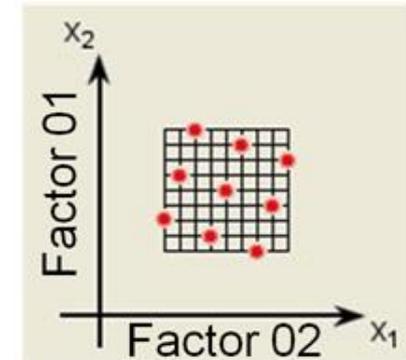
- ▶ Unsteady, time-step $\sim 10^{-5}$
- ▶ 20000 CPU.hours

Stratégie expérimentale



Dilemme de la dimension

Nombre d'entrées	Plans Factoriels	Plans résolution 4	Plans NOLH	Plans LHS
5	32	16	17	x
11	256	32	33	x
15	32768	32	65	x
30	10^9	64	257	x
60	10^{18}	128	NA	x



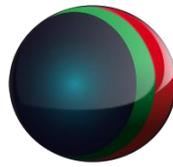
Combinaison de plusieurs plans (bon pour les RN, utile pour le krigeage)

- Au milieu du domaine expérimental : plan LHS (classique)
- À la périphérie : plan fractionnaire résolution 4 (la particularité de l'étude)
- Puis deuxième série de plan augmentés par
 - Réseaux de neurones => Leviers forts (voir 2010)
 - Modèle de krigeage => Expected Improvement (diapo suivante)

Plans réalisés

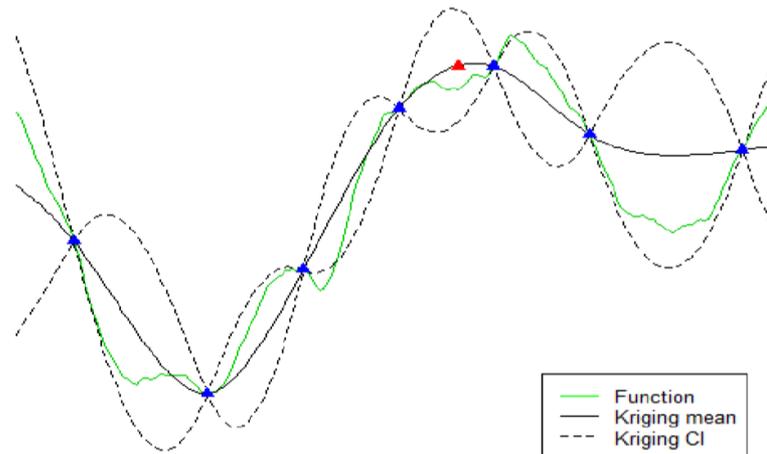
- 11 points => 129 expériences
- 15 points => plus de 900 points (on voulait faire bien + quelques tests)
- 30 points => 290 points (et c'est meilleur !)

Modèles de krigeage => Portée par groupe



En grande dimension (ici 15), mettre en commun certaines informations du modèle de krigeage par groupe d'entrées

- Contribution importante de la thèse de Méлина Ribaud (ICJ + LTDS)
- Réduction du nombre de coefficients dans le modèle
- La difficulté : identifier les groupes qui ont les mêmes « portées »
- Les modèles sont passés de 15 portées à seulement 4 à 6 portées
- Les modèles résultants sont plus robustes



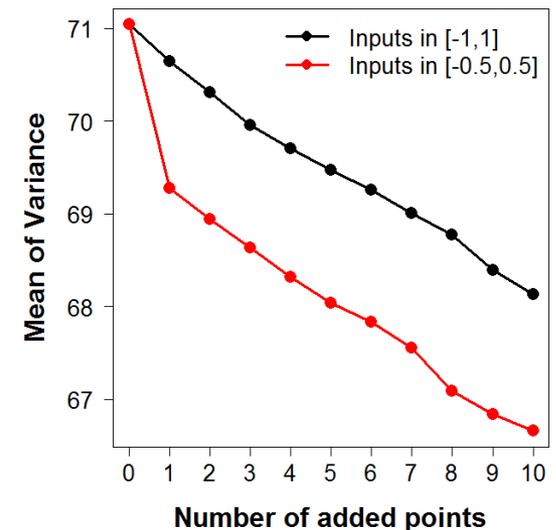
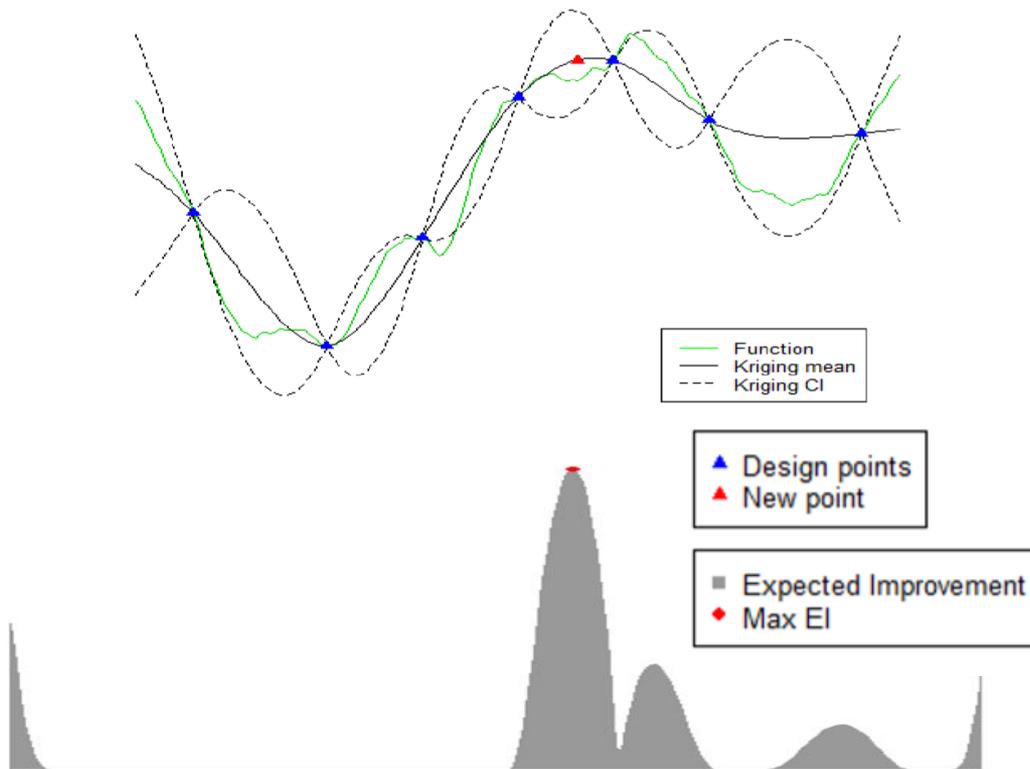
- <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02044258>



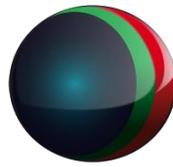
Expected Improvement

Technique adaptée aux modèles de krigeage pour recommander des points supplémentaires

- Recherche des incertitudes les plus fortes sur les réponses (ICJ + IMT) en dimension 11 et 15 (\Rightarrow LA difficulté)
- Les nouveaux points vont vers la périphérie (restreinte à $[-0.5, 0.5]^{15}$)



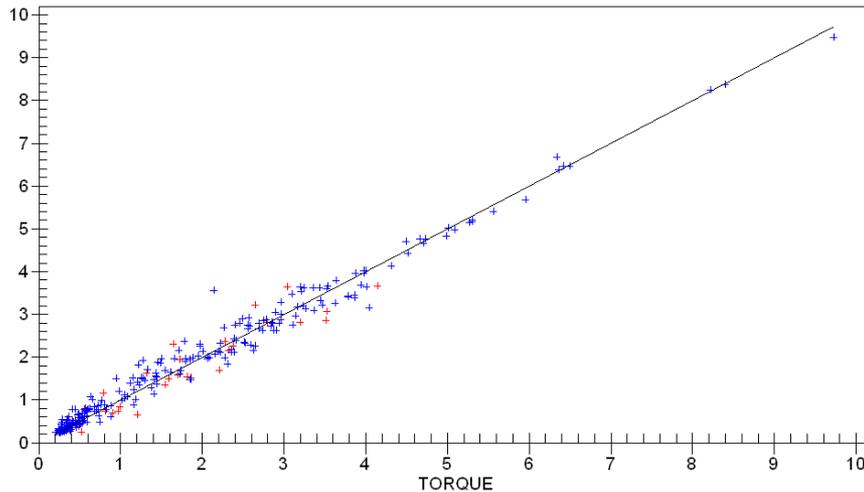
Changement de variables



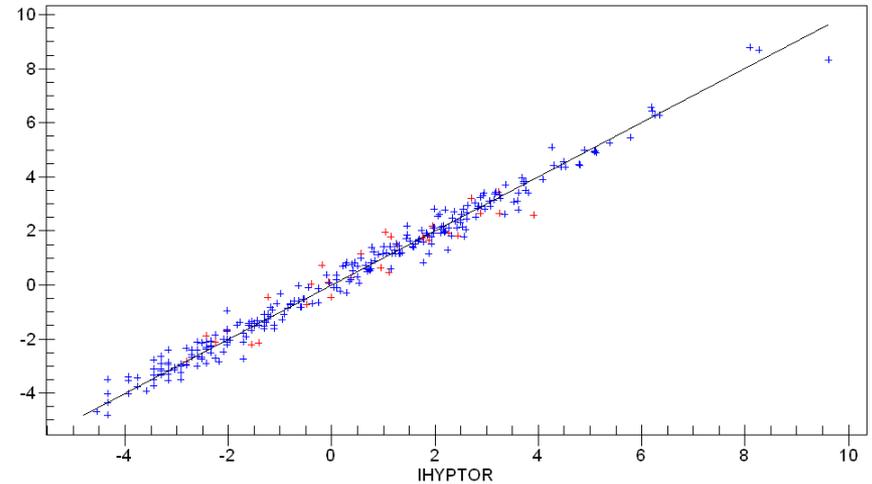
Transformation des réponses via des racines carrées, $\log()$, $\text{asinh}()$

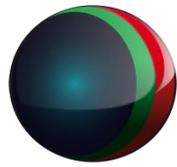
- Points mieux distribués dans le nouvel espace
- Réduit les non-linéarités
- Ici, la réponse d'un réseau de neurones à 30 entrées et 3 neurones cachés

Valeo\Pepito-jui2018-3
TORQUE calculé/TORQUE



Valeo\Pepito-jui2018-3
IHYPTOR calculé/IHYPTOR

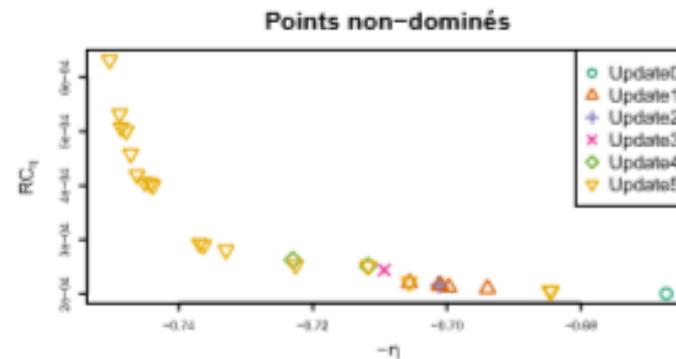
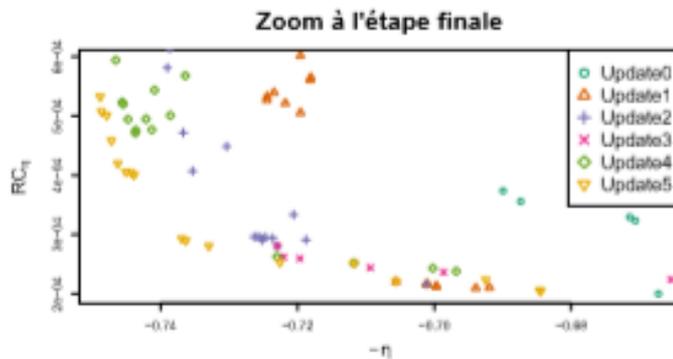
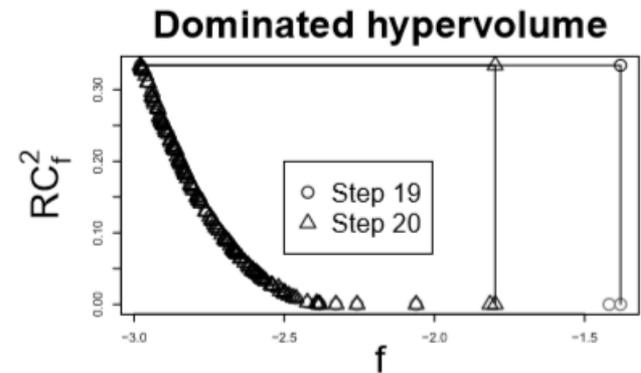
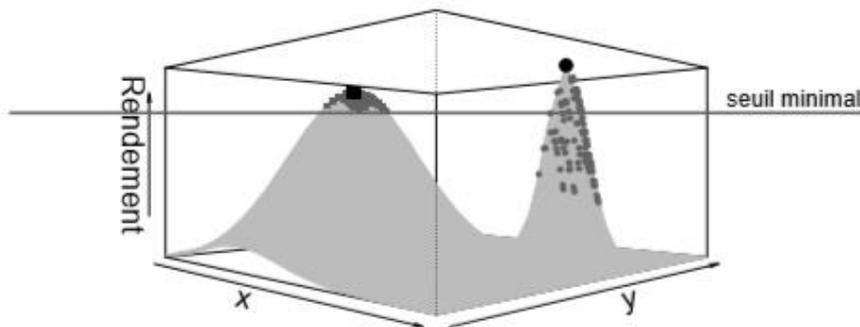


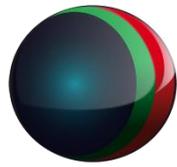


Optimisation multi-sorties => algo NGA-3

Recherche des fronts de Pareto (ICJ + LTDS + IMT)

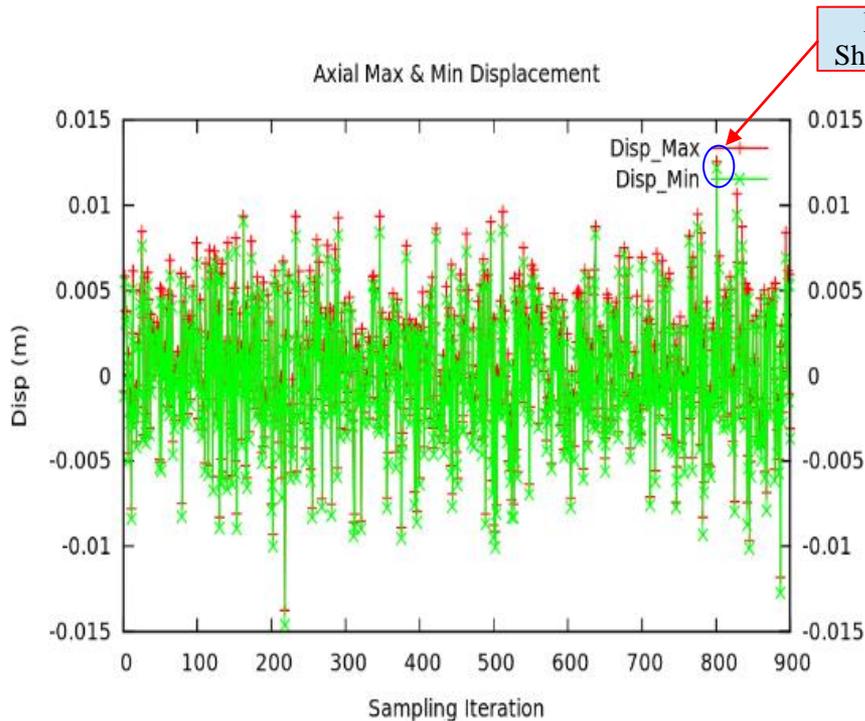
- Facile en 2 dimensions. Devient difficile en 3-6 dimensions
- Algorithme NGA-2 puis NGA-3 appliqué aux métamodèles de krigeage
- Calcul par rapport au point nadir





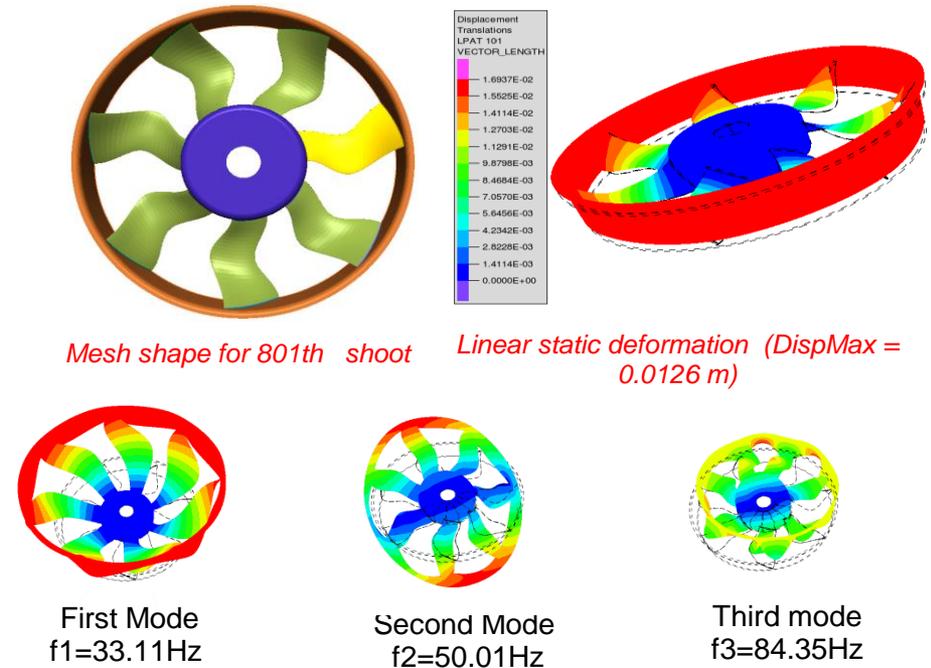
Analyse des déformations

Analyse globale des déformations (INTES)

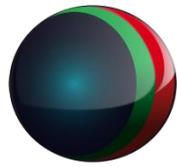


Positive and negative maximum static deformation for the 900 runs

Mesh Shape and Modal visualization of the shoot 801

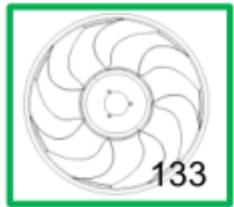


- Depending on the set of parameters, the displacement can vary roughly between ± 15 mm



Spectre acoustique

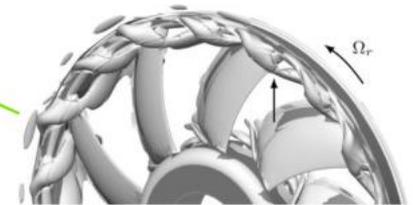
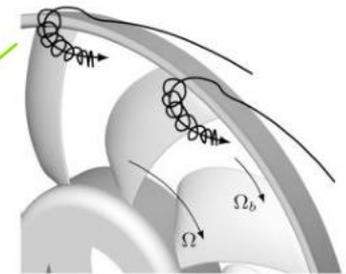
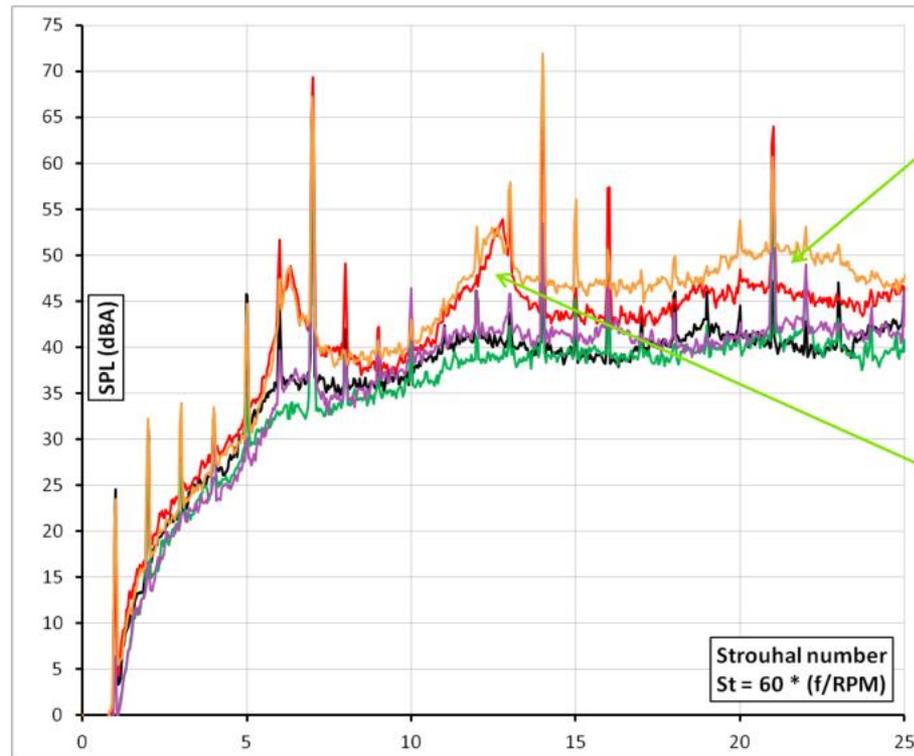
Recherche des causes entre les formes des hélices, les écoulements d'air et l'acoustique (VALEO + INTES)

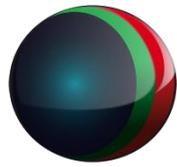


47.7%
3189 rpm



48.6%
3069 rpm





Calcul 1D ↔ Calcul 3D

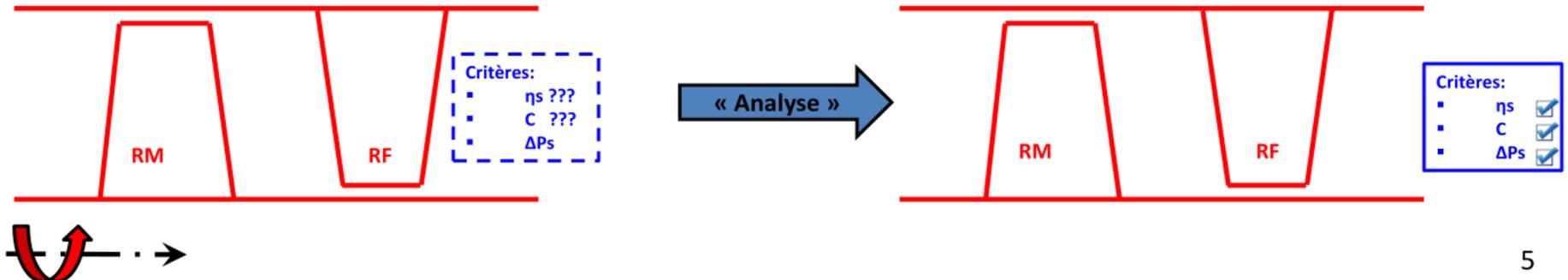
Des calculs plus simples mais extrêmement rapides

- Contribution LMFA
- Utiliser la basse fidélité pour orienter les calculs haute fidélité
- Très beaux résultats qui confortent l'expertise métier
- Un paramètre différent => incompatibilité avec les codes 3D

- TurboConcept V0.1 livré à l'ICJ en octobre 2016
- TurboConcept V0.2 livré à l'ICJ et l'IMT en février 2017



Objectif: Alimenter ICJ/IMT avec des résultats basse fidélité provenant du module "Analyse"



Conclusion



- **Plusieurs compétences (Grand groupe, 2 PME, 4 labos universitaires) pour explorer un sujet qui mélange physique et techniques statistiques**
- **Le plan à 15 essais a été source de difficultés mais nous a beaucoup appris**
 - **Domaine expérimental trop vaste avec des zones aberrantes**
 - **À obliger à faire beaucoup de points**
 - **Nous à obliger à réfléchir**
- **Le plan à 30 essais est bien meilleur. Nous avons des bonnes hélices et la sensibilité des hélices aux différentes entrées (une forme de robustesse)**
- **Les 7 acteurs ont des chaînes de calculs optimisées => Conception fiable**
- **VALEO dispose aujourd'hui de codes de calcul ultra-rapides pour les études d'avant-vente. Temps de calcul divisé par 50 en 8 ans (jours => minutes)**
- **Une ANR réussie !!**





Merci pour votre attention

patrice.kiener@inmodelia.com - manuel.henner@valeo.com

Tel : +33.9.53.45.07.38

Séminaire NAFEMS France – Paris – 6 juin 2019