

MultiPhysX Consulting – MPX

The Integrated Approach to Multiphysics Simulation

**Couplage simulation multiphysique & interface IA avec
agents spécialisés**

Une solution 100 % sécurisée & 100 % locale

Cas d'étude : Couplage fluide-thermique-mécanique + DOE

Auteur : Frédéric Bonnin - Octobre 2026

Organisée par



en partenariat avec



1

La chaîne multiphysique

- Cas d'étude : conduit d'air en PA66 GF35, sous capot moteur
- CAO → rhéologie → CFD → DOE → mécanique → K-Factor
- La température réelle de la pièce pilote le choix matière

slides 3 à 9

2

L'interface IA par agents

- Un agent spécialisé par projet ou par métier
- Il lit rapports, tableaux et images, et cite ses sources
- 100 % sécurisée, 100 % locale : rien ne sort du poste

slides 11 et 12

3

La preuve par l'exemple

- Le rapport de l'étude interrogé par son propre agent
- Lecture d'images techniques : corrélation de Hilpert
- Banc d'essai mesuré, limites assumées (annexe)

slides 14 et 15

Comment garder exploitable, en toute confidentialité, le savoir produit par la simulation ?

CFD : de la spécification de température au choix matière

1

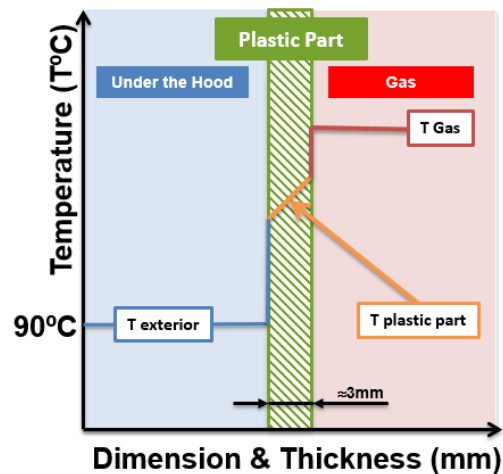
Le cahier des charges

Les températures spécifiées par l'OEM

T°C gaz · débit massique

T°C extérieure · vitesse d'air

Mais quelle température dans la pièce ?



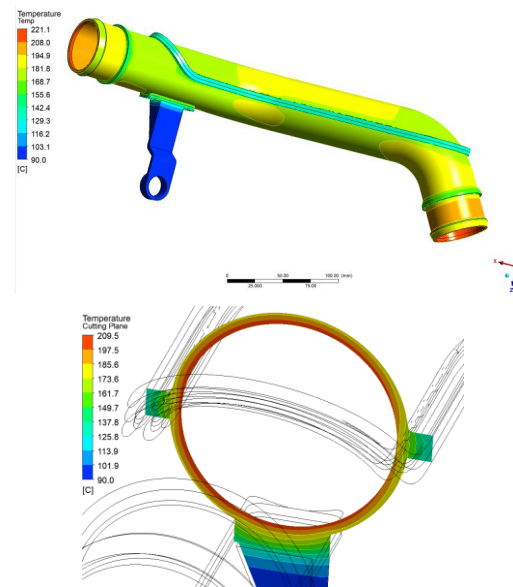
2

La CFD (Ansys CFX)

Les températures calculées dans la pièce

T°C plastique · gradient T°C

Points chauds identifiés, conception guidée



3

Le choix matière

Ce que change la température réelle

- Propriétés vs température
- Température d'essai (gain de temps)
- Optimisation du grade (coût)
- Liberté de design vs limite matière
- Assemblage (soudage vibration)
- Tenue des lignes de soudure

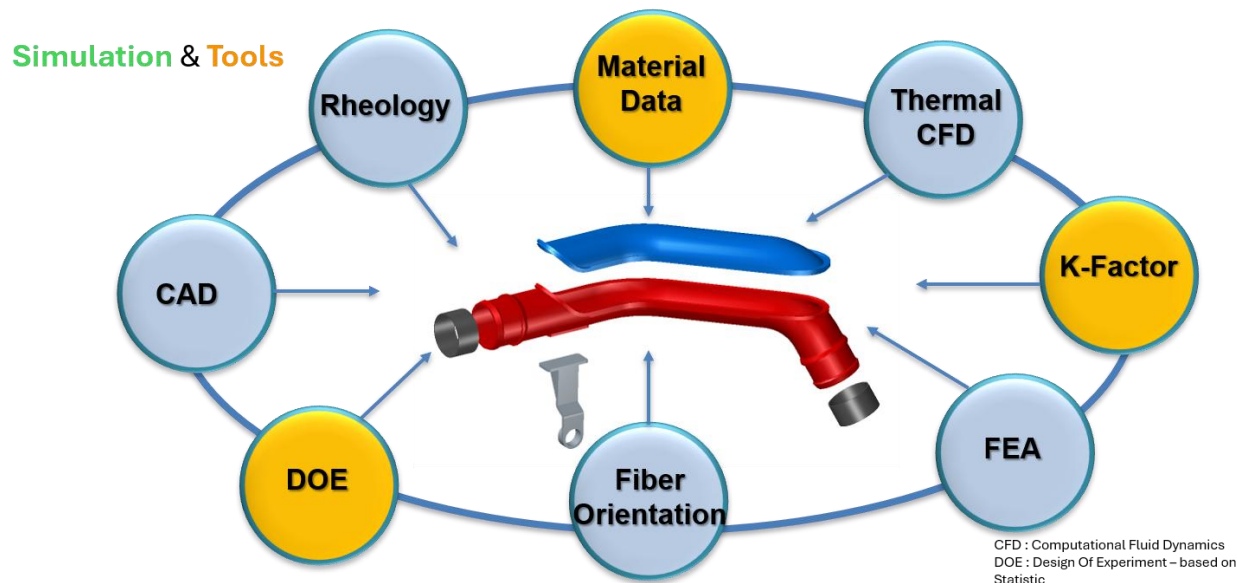
Product family	Peak T°C	Maximal in-use T°C (50% Tensile Strength drop)		
	HDT1,8MPa	1,000hrs	2,000hrs	3,000hrs
PPA - PA6T/66	285	250	230	215
PPA - PA6T/66	285	250	230	215
PA66/6T	242	230	230	230
PA66	250	230	220	220
PA66/6	250	230	220	220
PA66/6T	254	230	210	200
PA66	253	220	215	210
PPA - PA6T/XT	260	220	200	195
PPA - PA*-I	255	220	200	190
PPA - PA6T/XT	265	210	200	190
PPA - PA6T/66	285	210	195	185
PPA - PA6T/66	285	210	195	185

C'est la température réelle de la pièce, et non celle du gaz, qui pilote le choix matière

Chaîne multiphysique : 8 outils couplés + une interface IA

La chaîne de simulation

8 outils couplés autour d'une même pièce



CFD : Computational Fluid Dynamics
DOE : Design Of Experiment – based on
Statistic

CAO
SpaceClaim

Rhéologie

Données matière

CFD thermique

K-Factor
contrainte admissible

Mécanique (FEA)

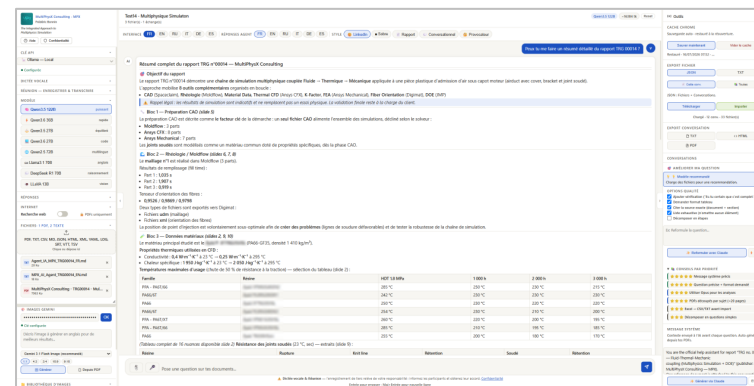
Orientation des fibres

DOE
JMP

IA

Interface IA multi-agents

100 % sécurisée · 100 % locale



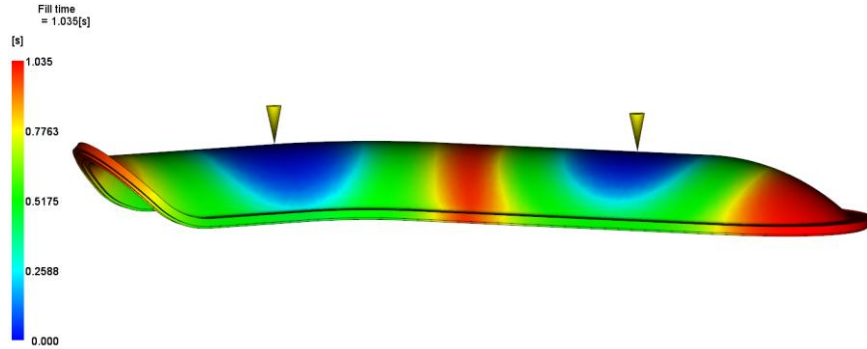
- Lit le rapport, ses tableaux et ses images
- Répond en citant ses sources
- Rien ne sort du poste

Un seul fichier CAO alimente toute la chaîne ; l'IA rend ensuite le rapport interrogeable

Rhéologie : simulation de remplissage (Moldflow)

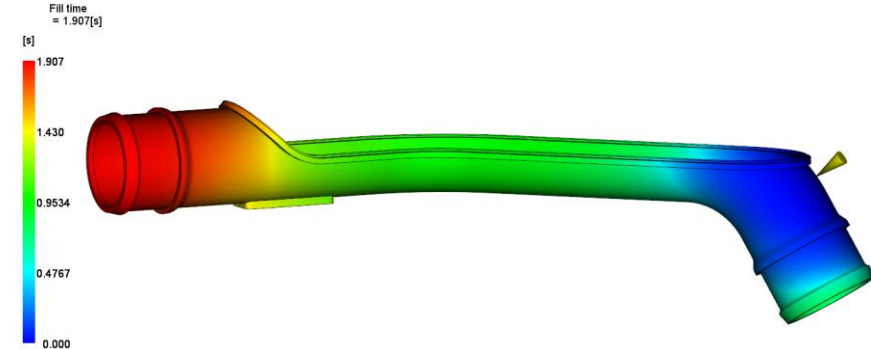
Couvercle

Remplissage : 1,035 s



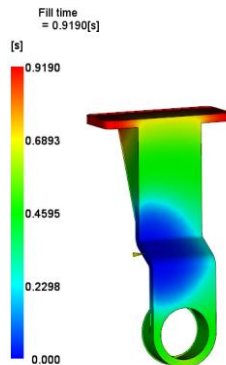
Conduit

Remplissage : 1,907 s



Support

Remplissage : 0,919 s



Assemblage maillé



À retenir

- 3 pièces maillées dans Moldflow
- **Point d'injection placé pour créer un défaut**
- Export vers Digimat : maillage (udm) et fibres (xml)

Moldflow fournit le maillage et l'orientation réelle des fibres au calcul mécanique (Digimat)

CFD thermique & fluide : la température réelle (Ansys CFX)

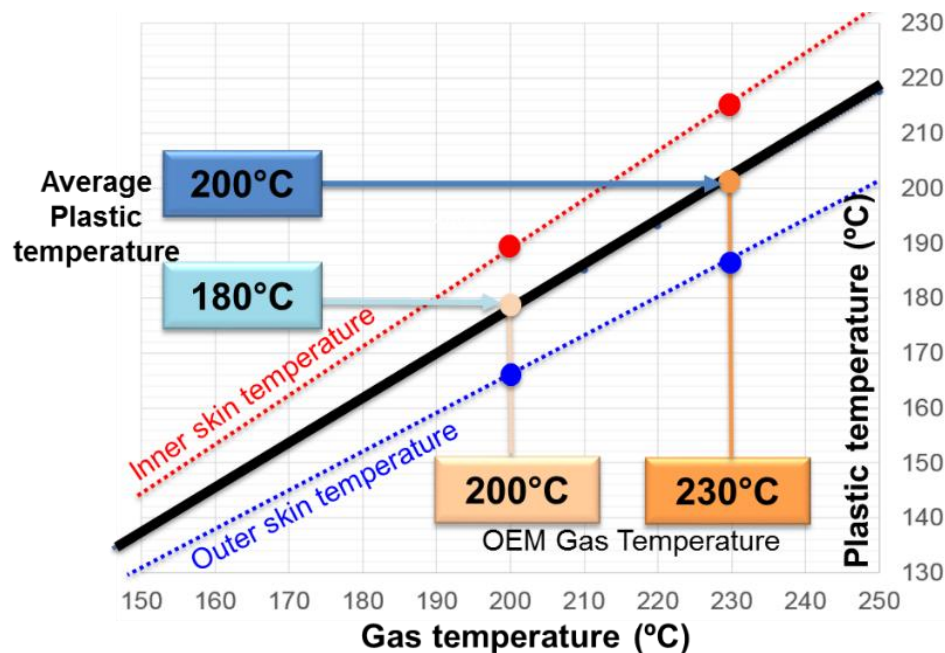
Du gaz à la pièce

Température du plastique selon la température du gaz

Échange ext. : $30 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ($\approx 5 \text{ m/s}$)

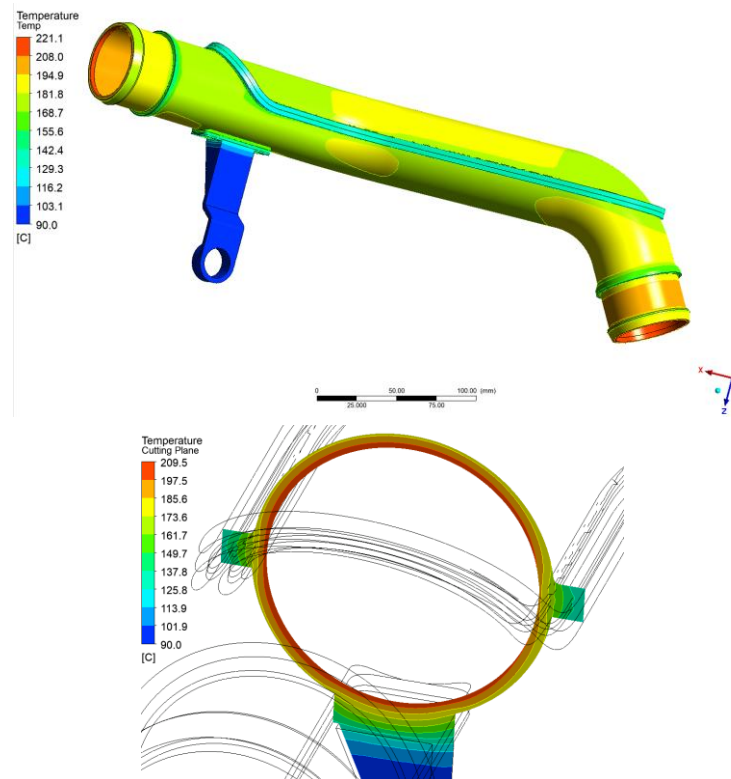
Débit : 100 g/s

T°C ext. : 90°C



Le champ de température calculé

Ansys CFX · gaz à 230°C



200 °C

en moyenne dans le
plastique
pour un gaz à 230°C

Gradient

de température dans le
plastique
peau interne plus chaude
que la peau externe

La pièce est 30°C plus froide que le gaz : c'est cette température réelle qui compte pour le choix matière

Plan d'expériences (DOE) : 21 simulations CFD (JMP)

1

Le plan d'expériences

4 paramètres, 21 simulations CFD

Paramètre	Plage
T°C gaz	200 à 250 °C
Débit massique	50 à 150 g/s
T°C extérieure	23 à 150 °C
Échange thermique ext.	2 à 60 W/m ² .K

LES 21 SIMULATIONS

	Gas T	Mass F Rate	EXT Temp	EXT H	T05	Pred Formula T05	T06	Pred Formula T06
1	200	50	23	31	167.45	167.3	136.55	143.7
2	200	50	150	2	198.95	197.9	197.85	196.9
3	200	50	150	60	187.85	187.5	175.25	174.8
4	200	100	86.5	31	189.25	189.0	167.55	165.7
5	200	150	23	2	198.85	198.0	195.65	195.1
6	200	150	23	60	183.55	185.0	133.85	134.1
7	200	150	150	31	196.95	197.8	187.25	187.7
8	225	50	86.5	31	200.35	201.5	174.95	177.8
9	225	100	23	2	223.05	224.6	218.85	217.4
10	225	100	23	47	200.95	198.0	151.45	147.7
11	225	100	86.5	2	223.65	225.6	220.85	220.6
12	225	100	86.5	60	206.75	205.8	167.55	165.4
13	225	100	150	31	218.25	218.9	203.15	199.8
14	225	150	86.5	31	216.85	216.2	189.25	189.2
15	250	50	23	2	245.45	244.4	240.15	239.6
16	250	50	23	60	193.75	195.0	137.75	138.0
17	250	50	150	31	232.95	233.3	213.55	212.0
18	250	100	86.5	31	235.55	235.5	202.25	201.3
19	250	150	23	31	236.85	237.1	190.85	190.7
20	250	150	150	2	249.35	248.5	247.55	250.8
21	250	150	150	60	241.95	241.8	211.15	214.9

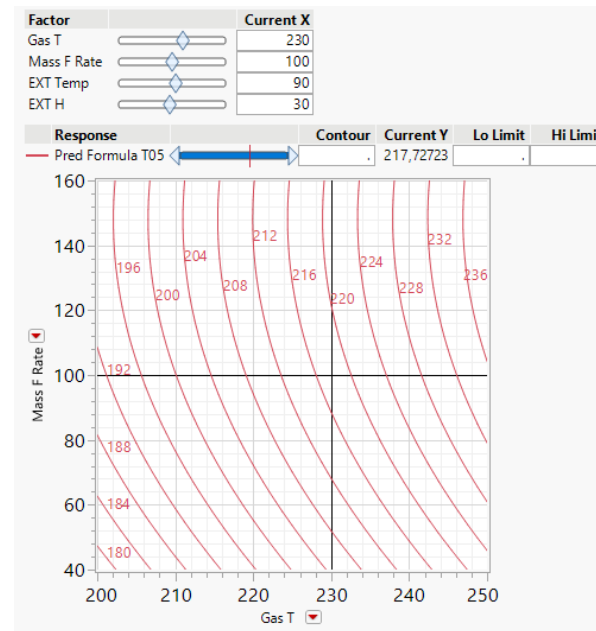
2

Le modèle statistique (JMP)

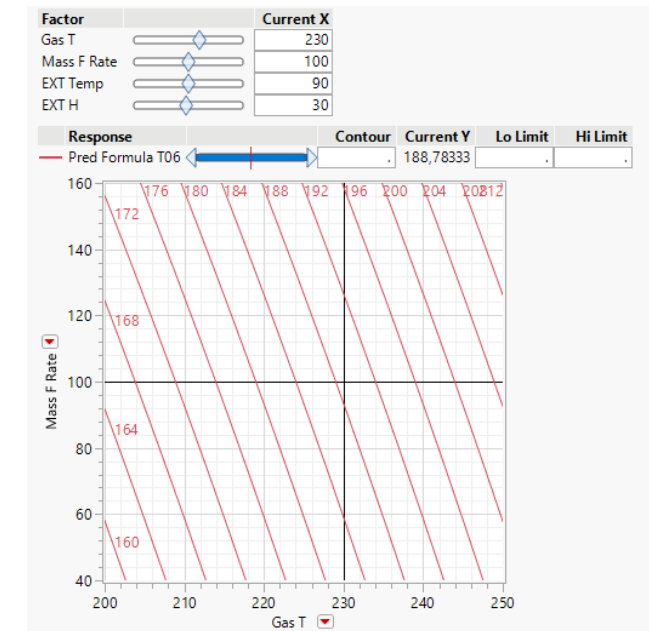
Réponse immédiate, sans simulation supplémentaire

2 paramètres fixés : T°C ext. 90 °C · échange thermique ext. 30 W/m².K

Peau interne : 218 °C



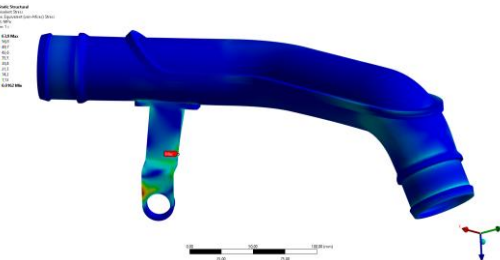
Peau externe : 188 °C



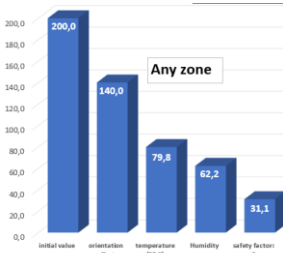
21 simulations CFD, puis une réponse immédiate sans nouveau calcul (ici, température moyenne : 200 °C)

Le point le plus chargé : 64 MPa

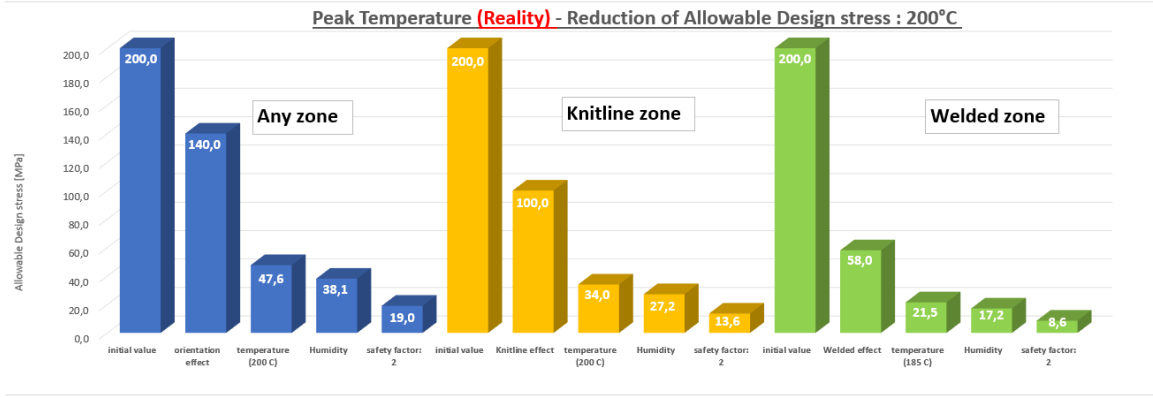
Sur le support, à 90 °C et non à 200 °C



64 MPa
sur le support, à 90 °C
Propriétés @ 90 °C
= bonne analyse



Propriétés matière @ 200 °C = mauvaise analyse

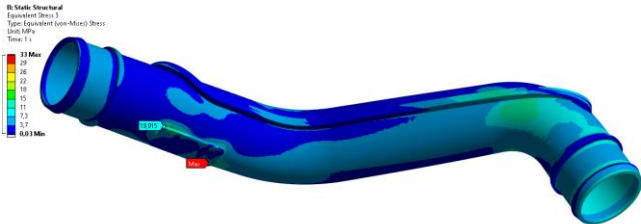


Les autres zones

Contrainte de von Mises, lue à la température locale

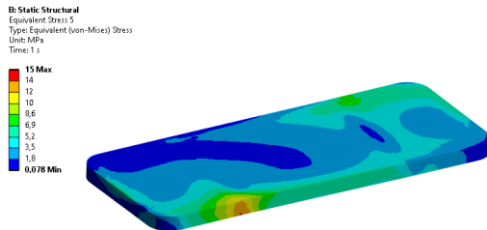


8 MPa @ 170 °C



14 MPa @ 200 °C

20 MPa @ 185 °C



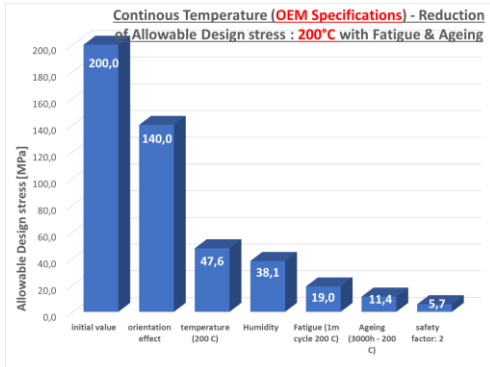
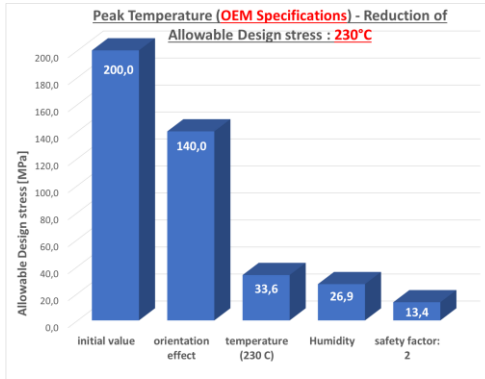
12 MPa @ 140 °C

Lecture simple : chaque contrainte se compare à la limite matière, à sa température locale

K-Factor : contrainte admissible réelle du matériau

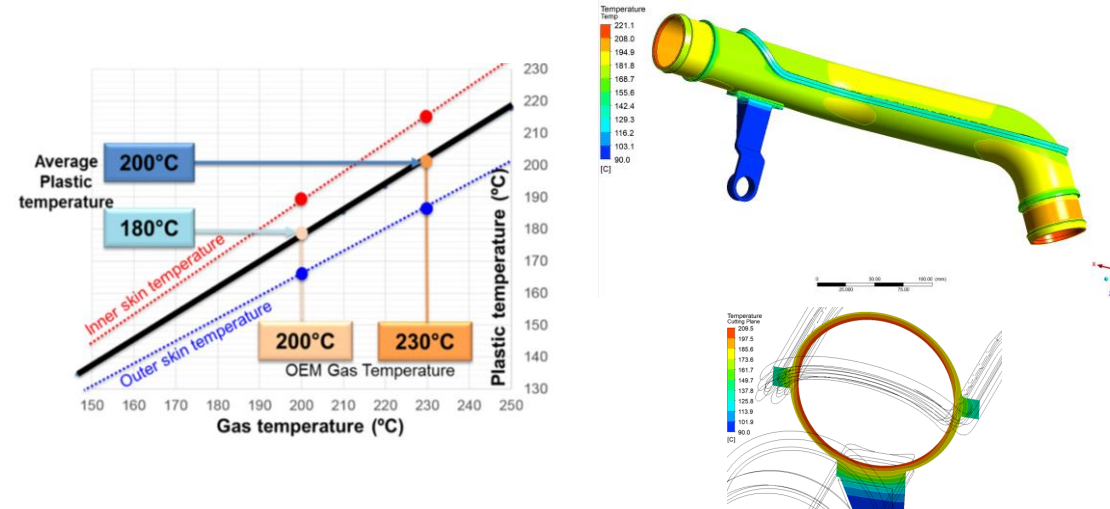
Spécification OEM

Pic 230 °C · continu 200 °C



Ce que change la CFD

Pièce : -30 °C en pic, -20 °C en continu (toute zone)

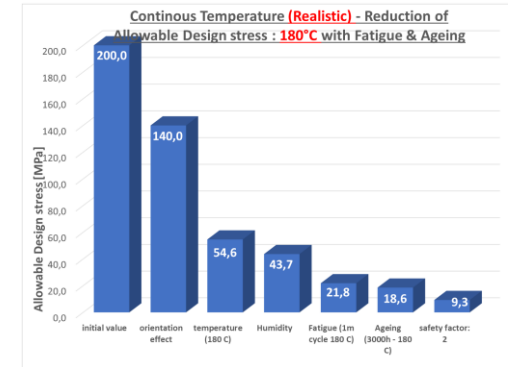
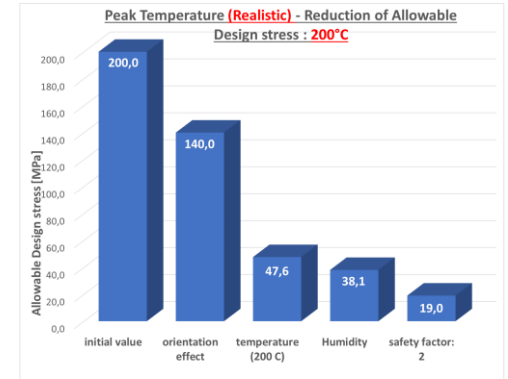


+41 %
contrainte admissible en pic
13,4 → 19,0 MPa

+63 %
contrainte admissible en continu
5,7 → 9,3 MPa

Température réelle

Pic 200 °C · continu 180 °C



Avec la température réelle : plus de liberté pour le concepteur et plus de choix matière

1

La chaîne multiphysique

- Cas d'étude : conduit d'air en PA66 GF35, sous capot moteur
- CAO → rhéologie → CFD → DOE → mécanique → K-Factor
- La température réelle de la pièce pilote le choix matière

slides 3 à 10

2

L'interface IA par agents

- Un agent spécialisé par projet ou par métier
- Il lit rapports, tableaux et images, et cite ses sources
- 100 % sécurisée, 100 % locale : rien ne sort du poste

slides 12 et 13

3

La preuve par l'exemple

- Le rapport de l'étude interrogé par son propre agent
- Lecture d'images techniques : corrélation de Hilpert
- Banc d'essai mesuré, limites assumées (annexe)

slides 15 et 16

Comment garder exploitable, en toute confidentialité, le savoir produit par la simulation ?

Interface IA : un agent par projet, sur vos documents

Le constat

Un savoir précieux, mais dispersé

- Un rapport de simulation, c'est 38 slides, 8 outils, des dizaines de tableaux et d'images
- Des documents dispersés, des résultats peu réexploités
- Un savoir qui part avec les personnes

La réponse

Une IA interne, par agents : elle lit vos documents, cite ses sources et rédige vos comptes-rendus.

Un agent par projet

Vos documents et vos réunions deviennent des réponses sourcées

VOUS DONNEZ

Vos documents

PDF scannés, Excel, images

Vos réunions

Teams, Zoom, Meet

VOTRE AGENT

Le savoir d'un projet

ses documents
+ ses règles
+ son comportement

6 ÉTAPES GUIDÉES

VOUS OBTENEZ

Réponses sourcées

fichier et page cités, ou
« non trouvé »

Comptes-rendus

prêts à la fin de la réunion

Souverain

Rien ne sort de vos murs.

Fiable

Il n'invente pas. Vous validez.

Le savoir reste

Il se capitalise et se transmet.

Dans vos murs : 100 % local par défaut, rien ne sort

Agents spécialisés : un agent par métier, en 6 étapes

L'assistant guidé

6 étapes, ~80 % automatique

1. Nommer l'agent
2. Choisir sa fonction
3. Types de fichiers
4. Charger les documents
5. Message système & garde-fous (généré)
6. Tester l'agent

Un agent = un seul fichier : documents, règles et discussions, sur votre disque ou votre serveur.

Ici : l'agent « Simulation Multiphysique » réunit 8 fichiers (2 PDF, 4 textes, 2 images).

Construis ton agent, pas à pas

Capture AgentX : l'assistant de création

Documents
le savoir



Règles
garde-fous



Comportement
ton, format



Agent métier

Un agent = le savoir d'un métier : ses documents + ses règles + son comportement

1

La chaîne multiphysique

- Cas d'étude : conduit d'air en PA66 GF35, sous capot moteur
- CAO → rhéologie → CFD → DOE → mécanique → K-Factor
- La température réelle de la pièce pilote le choix matière

slides 3 à 10

2

L'interface IA par agents

- Un agent spécialisé par projet ou par métier
- Il lit rapports, tableaux et images, et cite ses sources
- 100 % sécurisée, 100 % locale : rien ne sort du poste

slides 12 et 13

3

La preuve par l'exemple

- Le rapport de l'étude interrogé par son propre agent
- Lecture d'images techniques : corrélation de Hilpert
- Banc d'essai mesuré, limites assumées (annexe)

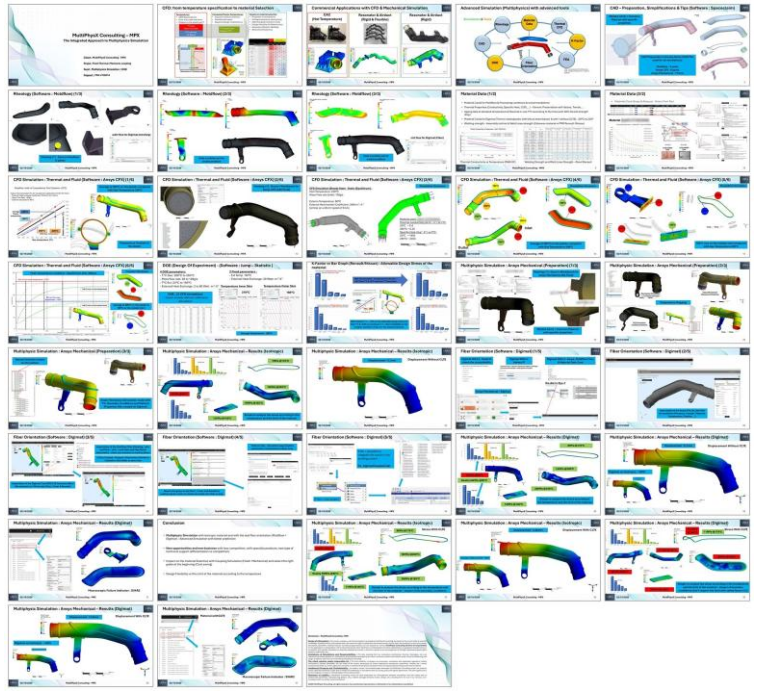
slides 15 et 16

Comment garder exploitable, en toute confidentialité, le savoir produit par la simulation ?

Démonstration : le rapport technique résumé par son agent

1 Le rapport technique

38 slides, 8 outils



2 Le même rapport, interrogé par son agent

AgentX · Qwen3.5 122B en local (Ollama) · rapport PDF + 2 fiches de consignes

Summary of the technical report TRG n°0014 - MultiPhysX Consulting

Objectif du rapport
Le rapport TRG n°0014 démontre une chaîne de simulation multiphysique couplée : Thermique - Mécanique appliquée à une pièce plastique d'admission d'air sous capot moteur (airduct avec cover, bracket et joint soudé).
L'approche mobilise 8 outils complémentaires organisés en boucle :
• CAD (Dassault) : Rhinoceros (Modélisme), Material Data, Thermal CAD (Ansys CFX), K-Factor, FEA (Ansys Mechanical), Fiber Orientation (Digital), DOE (MIP)
• Rappel légal : les résultats de simulation sont indicatifs et ne remplacent pas un essai physique. La validation finale reste à la charge du client.

Bloc 1 - Préparation CAD (slide 5)
La préparation CAD est décrite comme le facteur clé de la démarche : un seul fichier CAD alimente l'ensemble des simulations, décliné selon le solveur :
• Modélisme : 3 parts
• Ansys CFX : 4 parts
• Ansys Mechanical : 7 parts
Les joints soudés sont modélisés comme un matériau commun doté de propriétés spécifiques, dès la phase CAD.
Bloc 2 - Rhéologie / Modélisme (slides 6, 7, 8)
Le maillage n°1 est réalisé dans Modélisme (3 parts)
Résultats de remplissage (fill time) :
• Part 1 : 1,055 s
• Part 2 : 1,907 s
• Part 3 : 0,919 s
Tenseur d'orientation des fibres :
• 0,9526 / 0,9869 / 0,9798
Deux types de fichiers sont exportés vers Digital :
• Fichiers valid (initialisés)
• Fichiers non (orientation des fibres)
La position de point d'injection est volontairement sous-optimale afin de créer des problèmes (lignes de soudure défavorables) et de tester la robustesse de la chaîne de simulation.

Bloc 3 - Données matériaux (slides 2, 9, 10)
Le matériau principal étudié est le **PA66-GF35**, densité 1.410 kg/m³.
Propriétés thermiques utilisées en CFD :
• Conductivité : 0.4 W/m.K à 23 °C - 0.25 W/m.K à 200 °C
• Chaleur spécifique : 1.950 J/kg.K à 23 °C - 2.050 J/kg.K à 205 °C
Températures maximales d'usage (chute de 50 % de résistance à la traction) - sélection du tableau (slide 2) :

Famille	Resine	HDT 18 MPa	1 000 h	2 000 h	3 000 h
FPA - PA6T/66	285 °C	230 °C	230 °C	215 °C	
PA6T/ST	242 °C	230 °C	230 °C	230 °C	
PA66	250 °C	230 °C	230 °C	230 °C	
PA66/ST	254 °C	230 °C	210 °C	200 °C	
FPA - PA6T/XT	260 °C	200 °C	200 °C	195 °C	
FPA - PA6T/66	285 °C	210 °C	195 °C	185 °C	
PA66	255 °C	200 °C	180 °C	170 °C	

(Tableau complet de 16 nuances disponible slide 2) Résistance des joints soudés (23 °C, sec) - extraits (slide 9) :

Resine	Rature	Krit line	Retention	Soudé	Retention

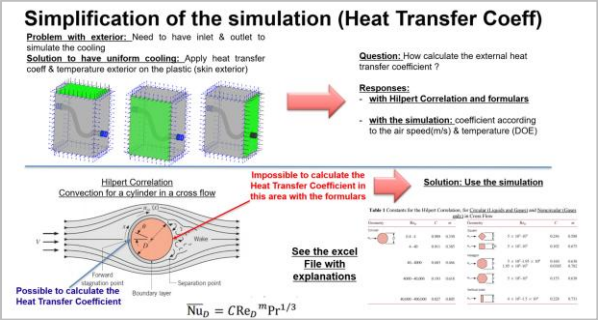
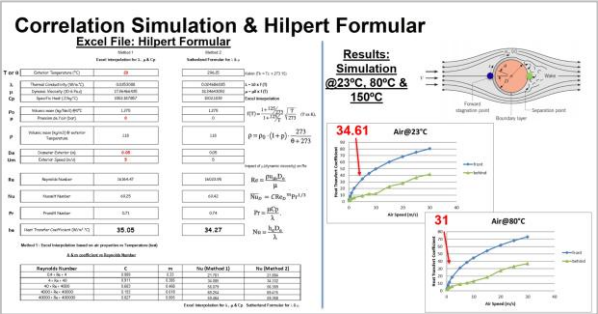
Question posée : « Peux-tu me faire un résumé détaillé du rapport technique ? »
L'agent restitue : la chaîne complète en blocs, les slides sources de chaque bloc, les tableaux valeur par valeur, un rappel de prudence.

Un rapport de 38 slides devient interrogeable, sans quitter le poste

Démonstration : l'agent lit les images et les relie au rapport

1 Deux images fournies

Deux slides techniques, en image



Question : « Peux-tu me faire un résumé détaillé de ces deux images ? Fais le lien avec le rapport technique »

2 L'agent relit les valeurs

Tableaux et formules transcrits

Résultats des deux méthodes		
Grandeur	Method 1 (Excel interpolation λ , μ , Cp)	Method 2 (Sutherland Formular λ & μ)
λ – Conductivité thermique (W/m $^{\circ}$ C)	0.0253088	0.024686035
μ – Viscosité dynamique (10 $^{-6}$ Pa.s)	17.96466435	18.34643092
Cp – Chaleur spécifique (J/kg. $^{\circ}$ C)	1002.187857	1002.1839
Re – Nombre de Reynolds	16364.47	16023.95
Nu – Nombre de Nusselt	69.25	69.42
Pr – Nombre de Prandtl	0.71	0.74
he – Coefficient de transfert (W/m ^{2} . $^{\circ}$ C)	35.05	34.27

Tableau des coefficients A & m (Hilpert) selon le Reynolds				
Plage de Reynolds	C	m	Nu (Method 1)	Nu (Method 2)
0.4 < Re < 4	0.989	0.33	21.701	21.884
4 < Re < 40	0.911	0.385	34.085	34.332
40 < Re < 4000	0.683	0.466	56.079	56.389
4000 < Re < 40000	0.193	0.618	69.254	69.415
40000 < Re < 400000	0.027	0.805	59.464	59.368

> Le Reynolds calculé (= 16 000) tombe dans la plage **4000 < Re < 40000**, d'où C = 0.193 et m = 0.618.

Trace : qwen3.8:27b · local (Ollama) · mode Précis · 6 min 07 s · compte-rendu exporté le 02/10/2026

3 Le lien avec le rapport

Renvois aux pages du rapport

Lien direct avec le rapport TRG n°00014	
Élément des images	Correspondance dans le rapport TRG00014
Vitesse extérieure 5 m/s	Rapport p.13 : « External Heat transfer Coefficient: 30 W-m^{-2}.K^{-1} (similar an uniform speed of 5 m/s) »
Coefficient calculé = 34-35 W/m ^{2} . $^{\circ}$ C (Hilpert, 23 $^{\circ}$ C)	Rapport p.13 : valeur retenue pour la simulation = 30 W-m^{-2}.K^{-1} (arrondi conservateur)
Coefficient = 31 W/m ^{2} . $^{\circ}$ C (simulation, 80 $^{\circ}$ C)	Rapport p.13 : même ordre de grandeur ; le DOE explore 2 à 60 W-m^{-2}.K^{-1}
Paramètre DOE « External Heat Exchange : 2 à 60 W-m ^{2} .K $^{-1}$ »	Rapport p.17 : 4 paramètres DOE variables , dont « External Heat Exchange: 2 to 60 Watt.m $^{-2}$.K $^{-1}$ »
Paramètre DOE fixe « External Heat Exchange : 30 W-m ^{2} .K $^{-1}$ »	Rapport p.17 : 2 paramètres fixes , dont « External Heat Exchange: 30 Watt.m $^{-2}$.K $^{-1}$ »
Simplification : appliquer un coefficient uniforme sur la peau extérieure	Rapport p.13 : « External Heat transfer Coefficient: 30 W-m $^{-2}$.K $^{-1}$ » appliqué comme condition aux limites sur la surface extérieure du plastique

Chaque correspondance renvoie à la page du rapport (p. 13, p. 17).

Conclusion de l'agent : le 30 W/m ^{2} .K du rapport est justifié par un double calcul, analytique (Hilpert) et numérique (CFD)

Conclusion

Simulation multiphysique

Ce que la chaîne apporte

- **Prédiction plus fine** : matériau isotrope, puis orientation réelle des fibres (Moldflow + Digimat).
- **Le bon grade dès le départ** : le couplage fluide-thermique-mécanique guide le choix matière et réduit les coûts.
- **Plus de liberté de conception** : face à la limite matière, à la température réelle (+41 % de contrainte admissible en pic).

Interface IA par agents

Ce que l'agent apporte

- **Un savoir interrogeable** : rapports, tableaux et images relus, source citée, sans invention.
- **100 % sécurisée, 100 % locale** : rien ne sort du poste ; chaque réponse est tracée.
- **Un agent par projet ou par métier** : le savoir se capitalise et se transmet.

Frédéric Bonnin · 06 81 53 45 80 · Frederic.Bonnin@multiphysx.com · multiphysx.com

Prochaine étape : un POC sur un seul sujet, avec vos documents, dans vos murs, pour un résultat mesuré