# Introduction

Tout le monde connait le TGV.

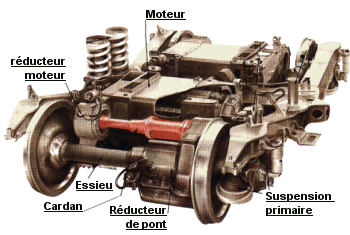


Sur les rails depuis les années 70, de 380km/h en 1981, à 515km/h en 1990, puis 574km/h en 2007, c’est le train de tous les records. Les lignes se sont multipliées pour rejoindre le cœur des grandes métropoles toujours plus rapidement et concurrencer tous les autres moyens de transport. Il a déjà fait l’objet de nombreuses présentations et sujets d’étude et dans ce document nous souhaitons vous présenter une pièce de fonderie et son environnement.

De très nombreuses pièces que l’on peut rencontrer dans un TGV sont des pièces de fonderie (tout comme dans un avion une voiture une moto et plein d’objets de la vie courante). Cela va de la structure des voitures (nom correct pour les wagons), de nombreuses pièces mécaniques (moteur, ventilation…), des pièces de connections électriques mais aussi du mobilier.

# La pièce sujet de l’étude

La pièce qui nous intéresse équipe les essieux de TGV et plus particulièrement les extrémités de bogies. C’est un couvercle destiné à protéger le système de roulement.



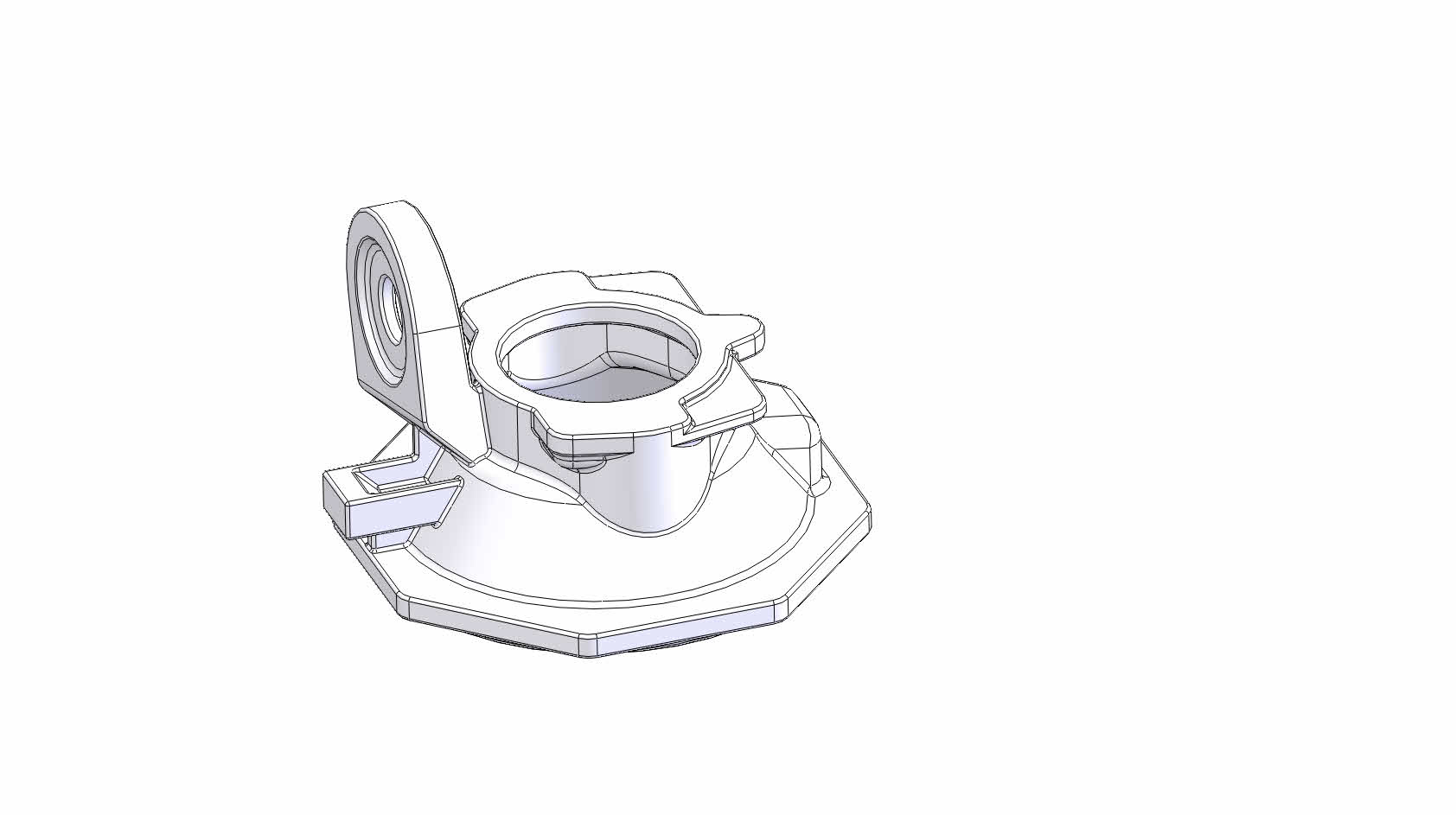
Le fonctionnement des bogies de TGV est décrit dans le document annexe inspiré d’une publication de l'association des Conducteurs de Trains à Grande Vitesse. (Doc annexe « Bogie-des-TGV-Atlantique-Réseau »)

Voici deux photos prises en gare de Tours sur un TGV Paris-Bordeaux.

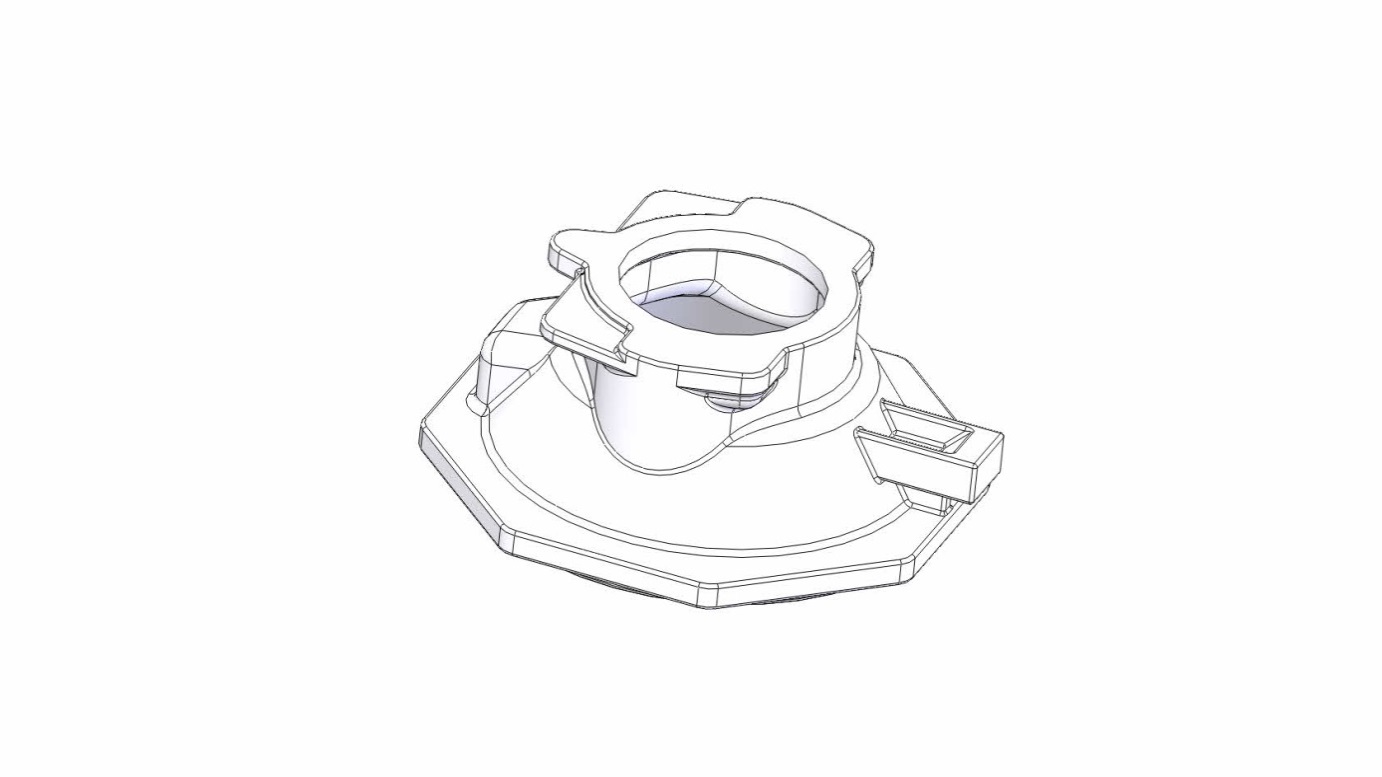




Il en existe plusieurs versions et par exemple celle-ci (Cf. [couvercle bogie TGV1.sldprt](Documents%203D/Couvercle%20bogie%20TGV1.SLDPRT))



Ou encore celle-là (Cf. [couvercle bogie TGV2.sldprt](Documents%203D/Couvercle%20bogie%20TGV2.SLDPRT)), que nous utiliserons pour expliquer l’étude de fonderie car elle est plus simple. (Voir aussi la version usinée [couvercle bogie TGV2 usinée.sldprt](Documents%203D/Couvercle%20Bogie%20TGV2%20usinée.SLDPRT))



On peut aussi voir une autre version de ce type de pièce sur le document SNR en annexe.

C’est une pièce produite en fonderie en EN GJS 600-3. La série est de 600 pièces par mois. Le moulage est réalisé en sable silico argileux synthétique, sur des machines à mouler impact pression.  
Les châssis sont de grandes dimensions (900x900mm) et les pièces sont coulées en grappe (4 pièces aux moules)

# Le procédé de moulage

Machine à mouler sable silico-argileux avec noyaux à prise chimique



Photo Leroy-Somer (groupe Emerson) <http://fonderie.leroy-somer.com/fr/index.php>

Le principe consiste à projeter fortement du sable silico argileux (silice+argile+eau) sur un modèle puis le serrer avec la machine. Le modèle est ensuite démoulé pour obtenir le moule. C’est un procédé qui permet des cadences de productions élevée. C’est aussi un procédé écologique car le sable est recyclé à presque 100%.

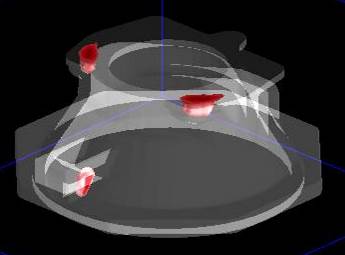
# L’alliage

Contrairement aux croyances populaires, « la fonte » n’est pas un matériau fragile. En fait il existe une très large palette de fontes. En jouant sur la composition chimique et les modes d’élaboration on peut obtenir des caractéristiques très variés au niveau de la coulabilité, la dureté, la limite à rupture, l’allongement, la résistance aux chocs, aux vibrations… On peut parfois dépasser 20% en allongement ! Ce qui n’est pas du tout fragile !

L’alliage utilisé est donc une fonte à graphite sphéroïdal. Cette forme de graphite permet d’obtenir des caractéristiques mécaniques élevées, proche des aciers, tout en ayant des propriétés de fonderie et d’usinabilité supérieures. Cette forme du graphite est obtenue par l’ajout de magnésium dans le métal liquide.

Les fontes sont aussi très intéressantes car en jouant sur la quantité de graphitant, on peut favoriser la présence de carbone sou forme de graphite ou de carbure (cémentite Fe3c). Dans le premier cas, il y a donc moins de carbone dans la matrice et la déformation plastique est facilitée, on a donc un fort allongement mais une faible résistance à la rupture (par exemple EN GJS350-17). Dans l’autre cas, la formation de perlite est favorisée et l’on peut avoir de grandes résistances à rupture mais de faibles allongements (par exemple ENGJS800-2)

# La simulation de solidification

La simulation numérique consiste à découper la pièce en de tous petits éléments de volume et d’appliquer des lois de comportement « simples ». Plus les éléments sont petits, plus le résultat sera fin, c’est-à-dire exploitable dans le détail, mais les temps de calcul augmentent très rapidement alors. Il est tout à fait envisageable avec les outils actuels de faire des simulations et d’obtenir un résultat en quelques minutes.

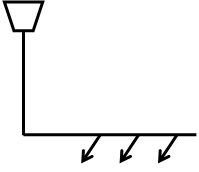
Pour déterminer les zones où peuvent apparaitre des défauts, il est donc nécessaire de simuler la solidification de la pièce seule. A T0, l’empreinte est remplie instantanément de métal liquide à la température de coulée (1300°C), alors que le moule est à 20°C. La température va donc baisser et l’alliage passer de l’état liquide à l’état solide. Le logiciel nous permet de visualiser l’évolution de la température et le passage de l’état liquide à l’état solide. Il prédit aussi les zones qui pourront présenter des soucis à cause de ce changement d’état (retassures).

Il faut donc prévoir des réservoirs de matière liquide pour ces zones (masselottes) ou les refroidir plus rapidement pour éviter ces défauts.

On peut donc analyser (entre autres) :

* la température de l’alliage et du moule et son évolution.
* l’évolution de la fraction liquide pour déterminer les dernières zones de solidification
* la prédiction des zones de défaut

# Modélisation de la grappe



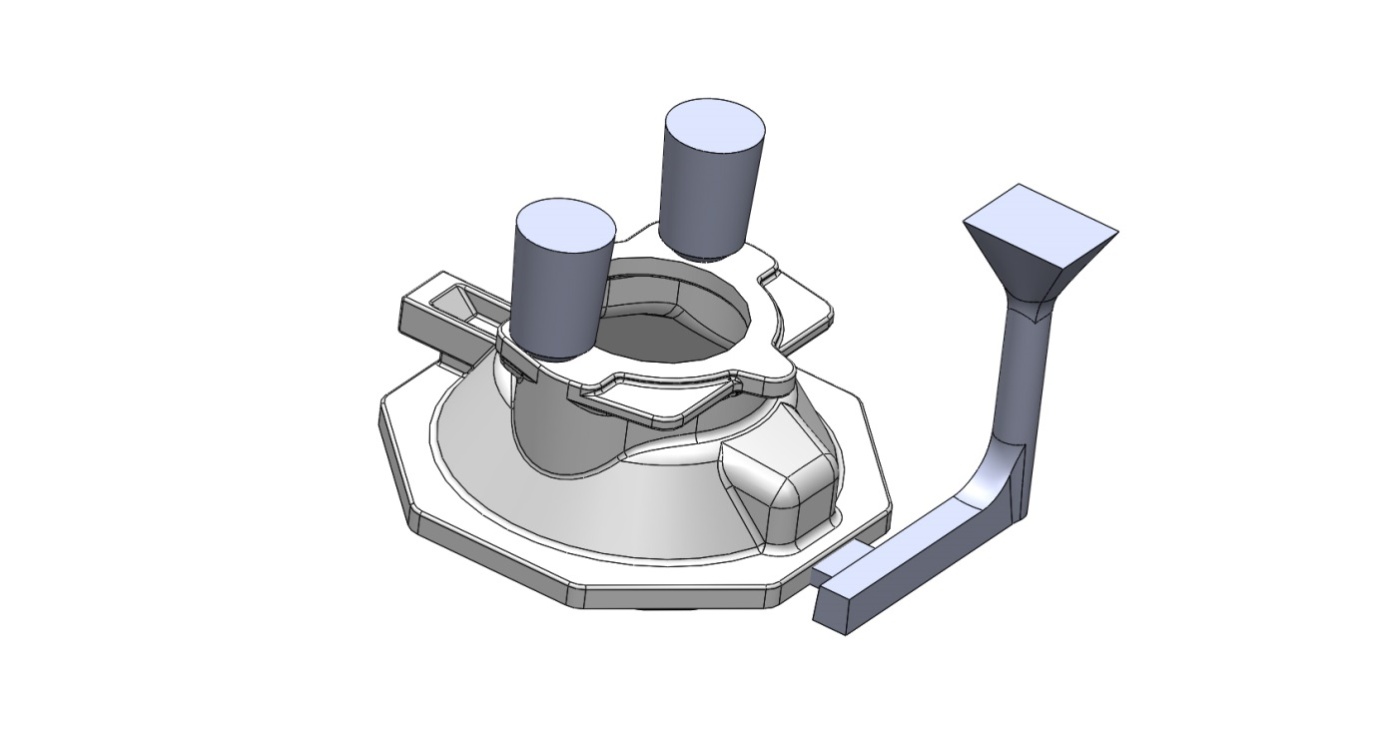
Lorsque l’on veut couler du métal liquide dans une empreinte, il faut un système de remplissage. Couramment, il y a un entonnoir, une descente de coulée, un (ou des) chenal, puis une ou des attaques.

Pour dimensionner cela, tout est une question de débit. On peut écrire :

Le débit

La vitesse du fluide est proportionnelle à la racine carrée de la hauteur (), le volume à remplir est connu (propriétés de masse dans Solidworks) et le temps est choisi en fonction des épaisseurs de pièce et la température de l’alliage. Il ne reste donc qu’à déterminer les sections.

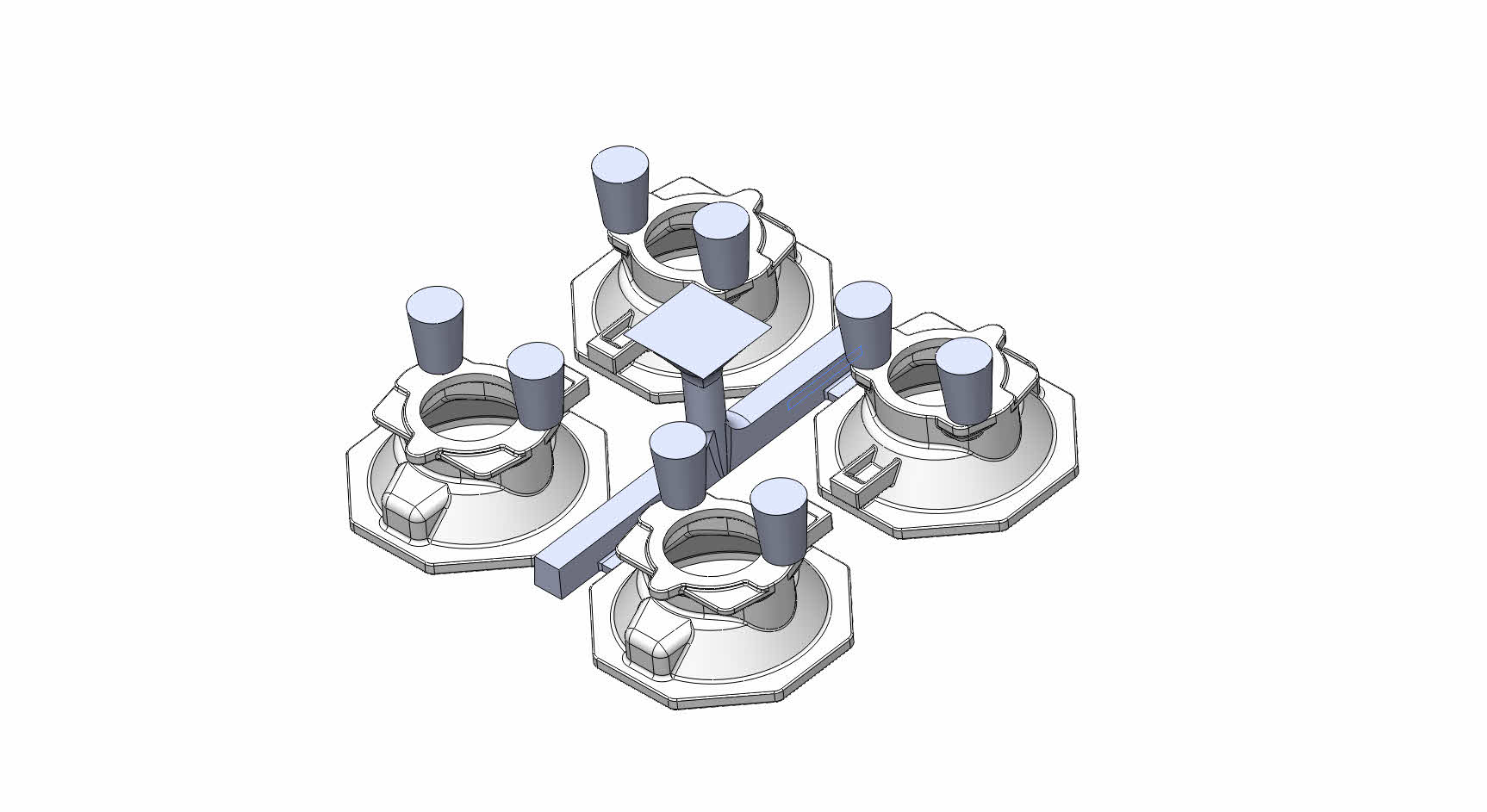
Si l’on ne considère qu’une seule pièce, cela peut donner au plus simple



# L’étude de moulage

La grande difficulté lorsque l’on travaille à la réalisation d’une pièce de fonderie est la définition du moule et donc des outillages. Il faut tenir compte de l’alliage, des procédés et du matériel disponible dans l’entreprise. Pour les défauts en partie supérieure, nous avons choisi de placer des masselottes pour déplacer la dernière zone de solidification.

En pratique, ces pièces sont produites par quatre au moule. Cela donne une grappe (simplifiée) de ce type :



Pour le défaut en partie basse, nous avons opté pour la mise en place d’un noyau en chromite (Oxyde de chrome). C’est un matériau conducteur de la chaleur qui va accélérer le refroidissement et éviter la création de la retassure.

# La simulation de remplissage et solidification

La première simulation que nous avons effectuée avait pour seul but de nous donner une idée des zones qui ont tendance à se solidifier en dernier. Cela nous a permis de déterminer la position des masselottes, refroidisseurs, attaques… Il faut maintenant valider la grappe car dans la réalité, l’empreinte n’est pas remplie instantanément. Nous allons donc demander au logiciel de simuler le remplissage de l’empreinte puis sa solidification. Les calculs sont alors beaucoup plus complexes car ils allient mécanique des fluide et thermodynamique. On effectue toujours une première simulation avec un nombre d’éléments limité pour vérifier s’il n’y a pas d’erreur de paramétrage puis on peut ensuite « affiner » le modèle. Une fois que l’on considère que la grappe va nous permettre de réaliser une pièce correcte, il est possible de passer à la réalisation des premiers prototypes à l’atelier.

On peut donc analyser (entre autres) :

* la température de l’alliage et du moule et son évolution.
* L’écoulement du métal, notamment les vitesses
* Des éventuelles malvenues (métal qui fige avant d’avoir tout rempli)
* l’évolution de la fraction liquide pour déterminer les dernières zones de solidification
* la prédiction des zones de défaut

On valide donc plus globalement la grappe.

Remarque : la grappe est doublement symétrique ! On peut donc grandement limiter les temps de calcul en définissant les plans de symétrie au logiciel. Il n’a plus qu’un quart du volume à simuler.

# Quelques liens

<http://www.sncf.com/fr/trains/tgv>