

Initiation aux rayons X **dans l'industrie**



RX Solutions
11 Route de la Salle
74960 Cran-Gevrier - France
Email: info@rxsolutions.fr

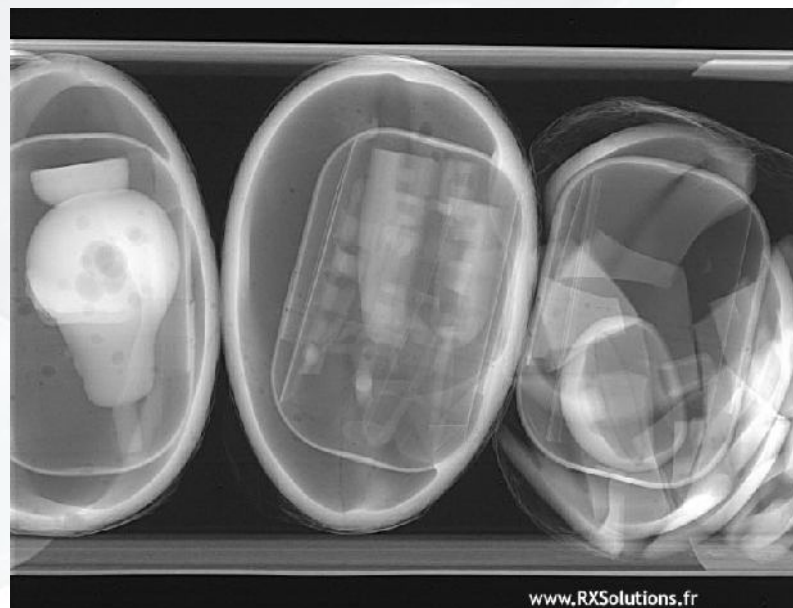
Introduction : le contrôle *non destructif*

- **Pourquoi un contrôle « non destructif » ?**
 - Contrôler, interroger sans détruire
 - Pour réaliser d'autres contrôles, essais, mesures par la suite (campagne d'essais...)
 - Pour continuer d'utiliser la pièce
 - Pour éviter de corrompre l'échantillon au cours des opérations de destruction (ex : découpe)
- **Quand ?**
 - R&D
 - Industrialisation
 - Contrôle Qualité (100%, par prélèvement...)
 - Retour clients

Un contrôle indolore, à tout moment de la vie du produit

Le contrôle non destructif par **rayons X**

- Pourquoi ?
 - Voir au travers
 - Voir à l'intérieur
 - Voir en temps réel



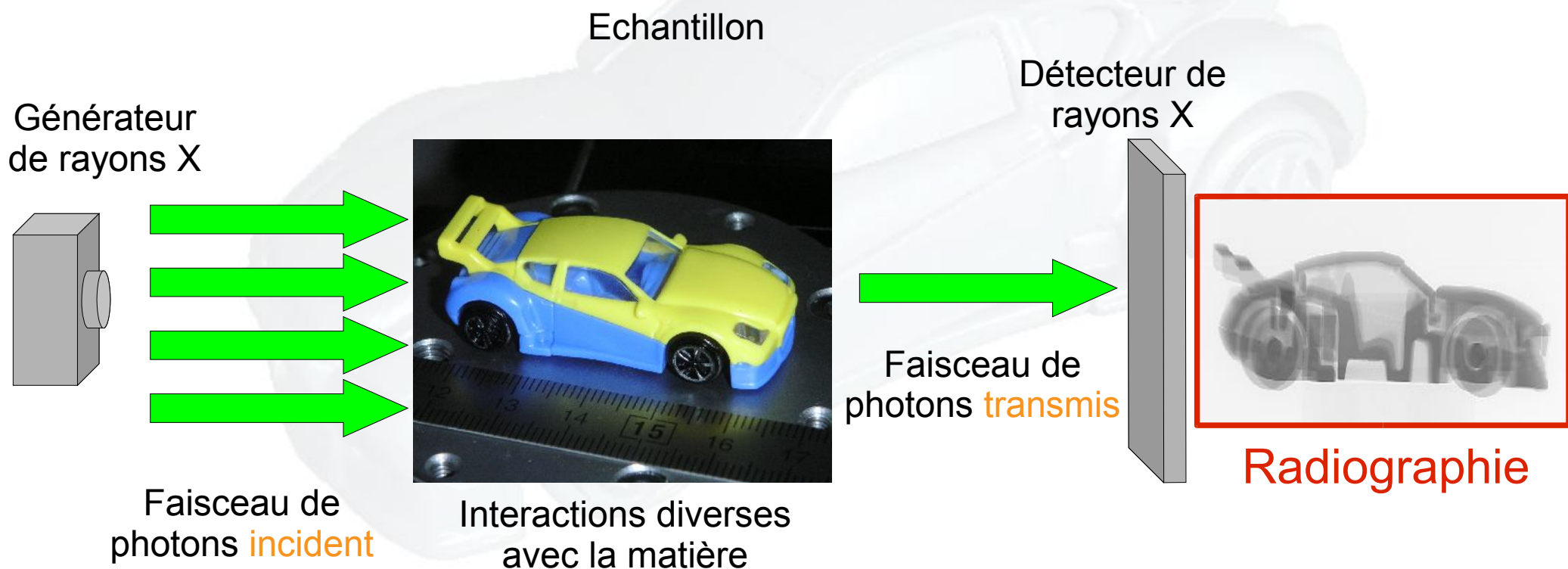
Principes de l'imagerie par rayons X

- Que sont les rayons X ?
 - Un rayonnement électromagnétique (comme la lumière)
 - Un rayonnement pénétrant
 - Interagit avec la matière



- Rayonnement d'énergie variable : unité : electron-Volt (eV)
- Utilisation : entre 20 keV et quelques centaines de keV

Principes de l'imagerie par rayons X : Imagerie par transmission

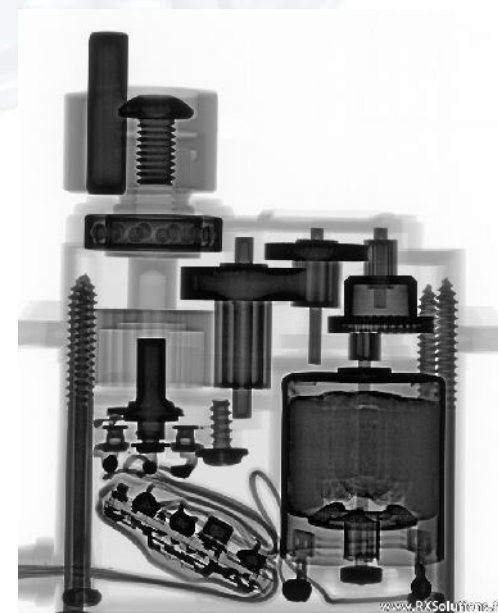


1er mode d'utilisation : *La radiographie*

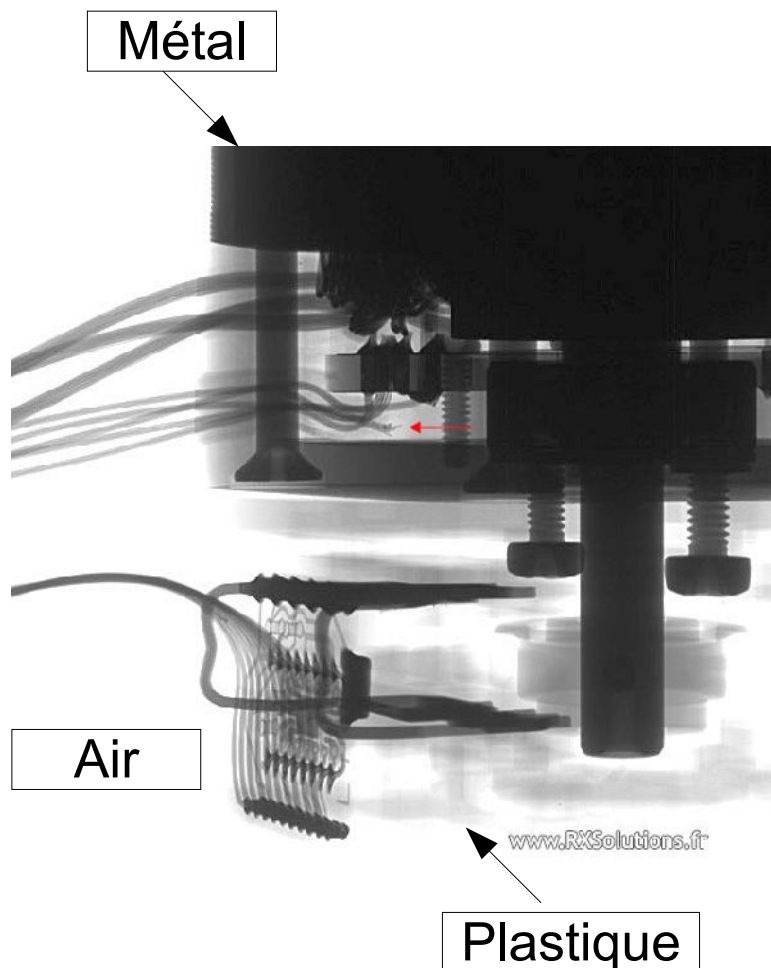
- **Sans danger pour l'échantillon** : utilisé y compris dans l'agro-alimentaire. L'échantillon ne devient pas radioactif.
- **Dangereux pour l'homme** : protection par cabines en plomb, bunker (rayonnement ionisant)
- Données collectées par le capteur : photons qui ont traversé l'échantillon



Une des premières radios, réalisée par Röntgen (1895)

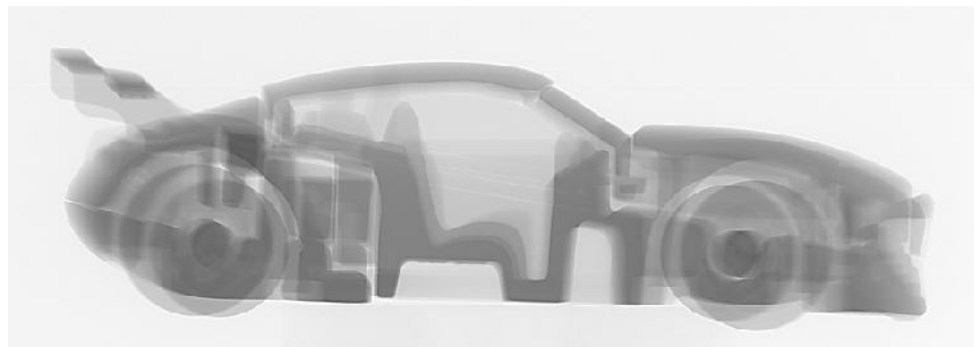


Que voit-on ?

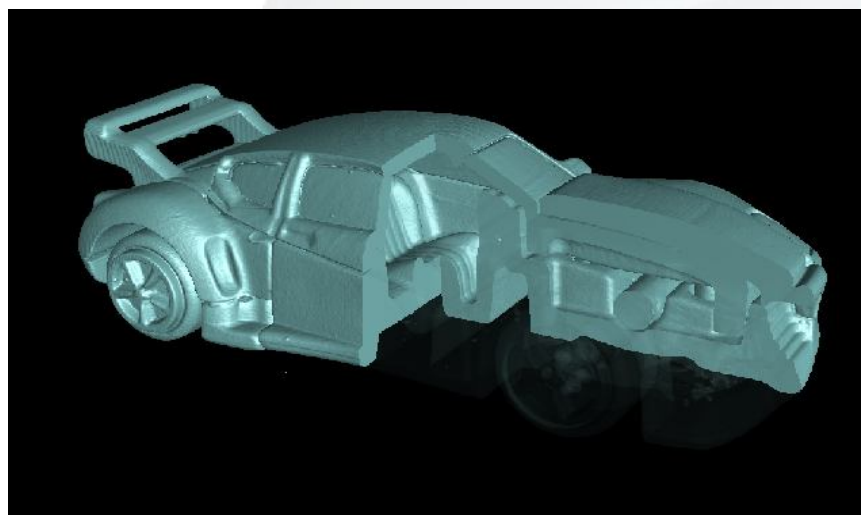


- Les rayons X interagissent avec la matière en fonction de :
 - leur énergie,
 - le numéro atomique des atomes rencontrés,
 - la densité.
- Ils traversent facilement si :
 - leur énergie est forte,
 - les constituants du matériaux sont « légers »,
 - le matériau est peu dense.

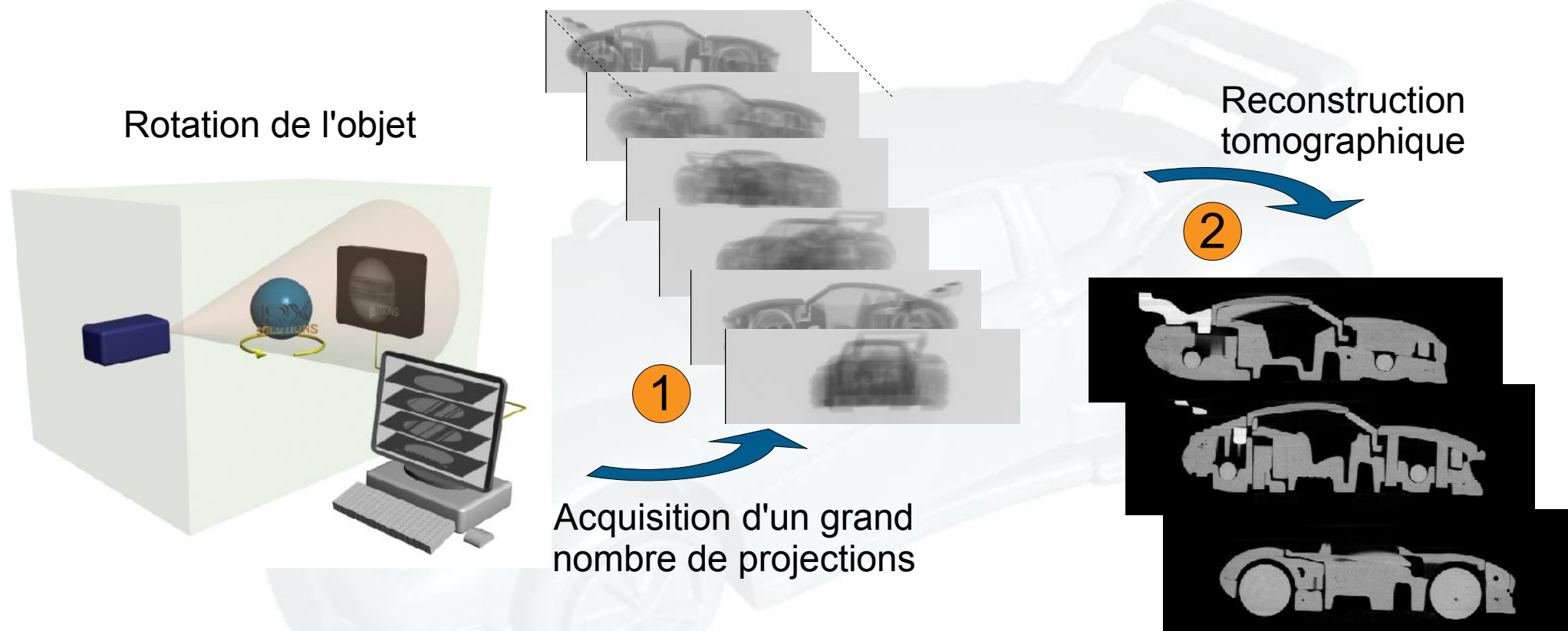
2ème mode d'utilisation : *la tomographie*



- Problème : limites d'interprétation : position des éléments en profondeur, éléments complexes, éléments cachés...
- Solution : **reconstruction 3D ou tomographie** : on découpe virtuellement la pièce en fines tranches
 - similaire au scanner médical



La tomographie

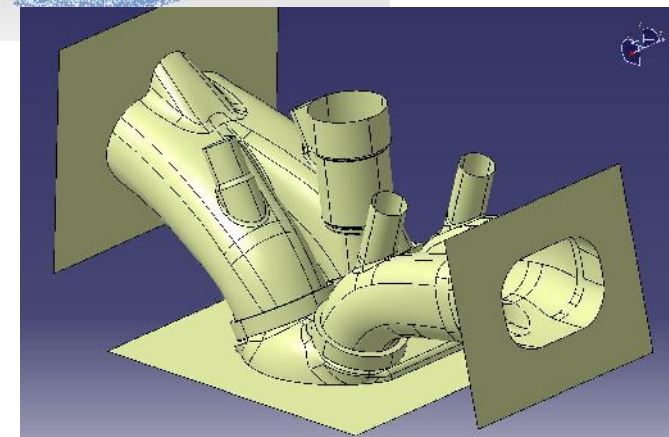
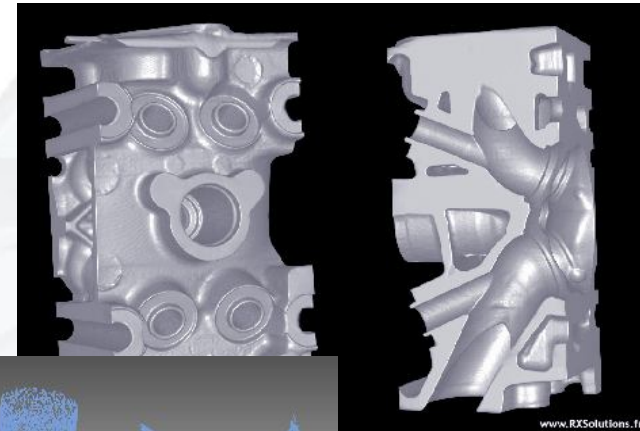


- Acquisition : plusieurs centaines de radios autour de la pièce (en réalité : le plus souvent, c'est la pièce qui tourne, contrairement au scanner médical)

- Puis : reconstruction tomographique de la pièce en 3D (calcul informatique), sous la forme d'un grand nombre de coupes au travers de l'image

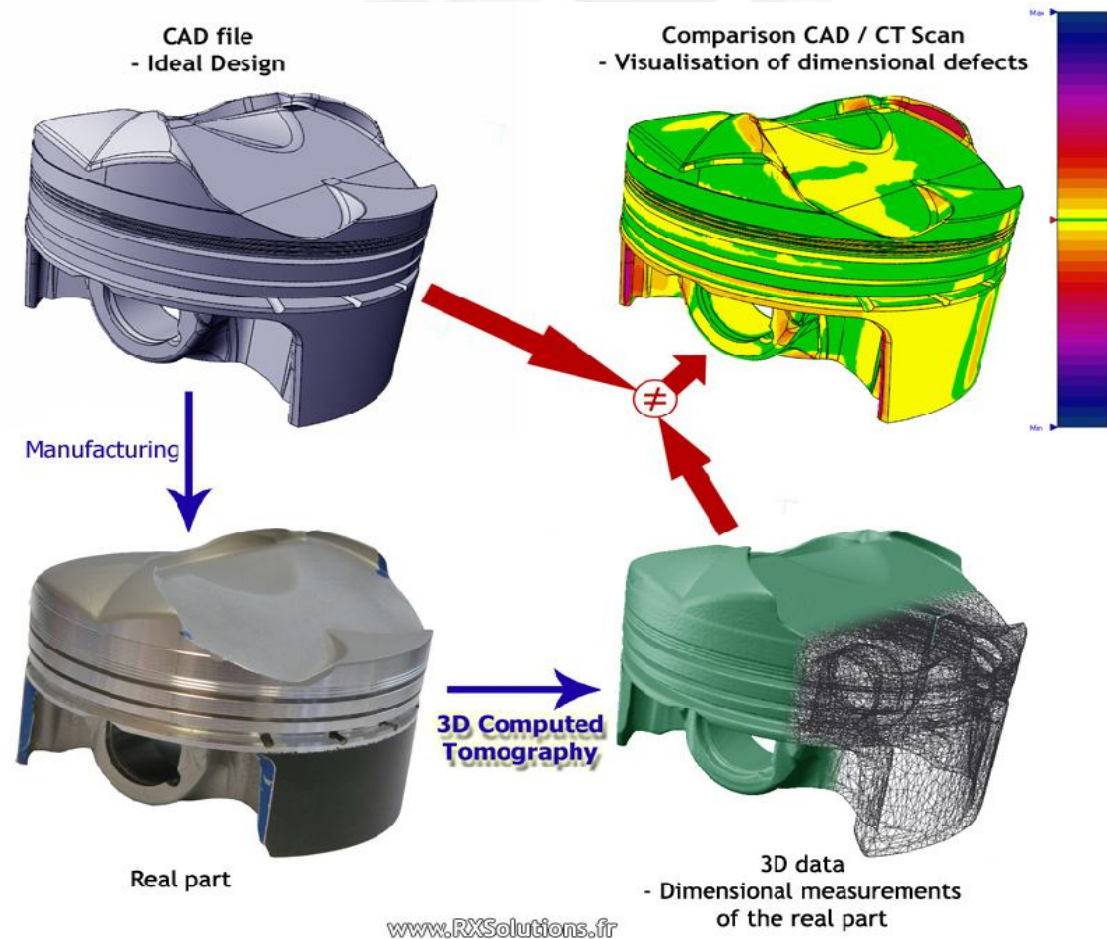
Les Applications : Conception

- **Rétro-conception** : calcul du modèle CAO à partir d'un prototype.
 - À partir d'une **tomographie** : **extraction des surfaces** de la pièce (à la frontière entre l'air et le matériau) et calcul de milliers de points à la surface de la pièce.
 - **Reconstruction des surfaces** : à partir du nuage de points, un expert dessine les surfaces CAO
- **Avantage** : Opération indépendante de la complexité de la pièce
- **Inconvénient** : Nécessite une pièce en matériau homogène
- S'utilise aussi pour l'espionnage industriel...



Les Applications : Industrialisation

- Mise au point du procédé de fabrication
- Comparaison CAO
 - ➔ Idem rétroconception : numérisation de la pièce pour extraire ensemble de points à la surface
 - ➔ Puis Comparaison directe avec le modèle issu de la CAO



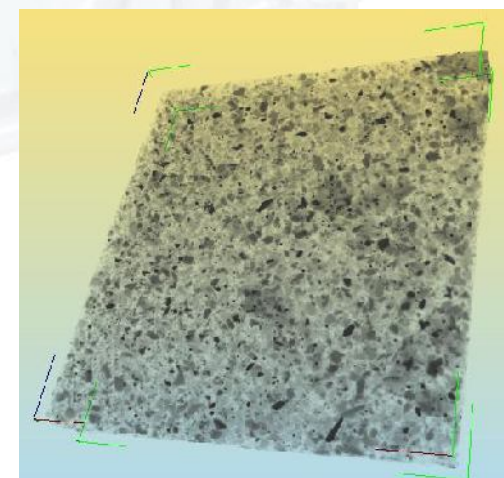
Les Applications : Industrialisation

Mise au point du procédé de fabrication : Analyse de pièces issues de différents moules, de différents paramètres du process de fabrication (pression, température, pourcentage des différents composants, réglages de machines, etc)

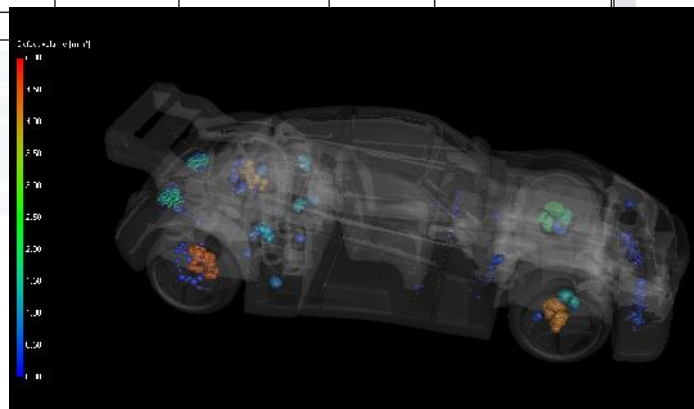
- Recherche de porosités

	A	B	C	D	E	F
	Volume [mm³]	Nombre de voxels	Position X	Position Y	Position Z	Surface [mm²]
1	4.51	17373	337	164	79	41.39
2	4.24	16328	345	641	69	32.35
		15768	60	162	85	33.66
		8167	70	637	85	13.03
		7546	73	627	63	14.37
		6164	70	654	73	10.49
		5772	266	97	137	30.44
		5428	145	94	139	27.28
		5147	344	656	93	10.37

- Analyse de la position, de l'orientation de fibre, de charge, etc dans une matrice.

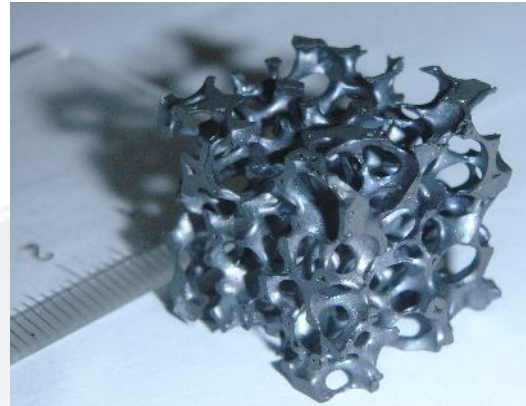


Charges dans une plaque composite

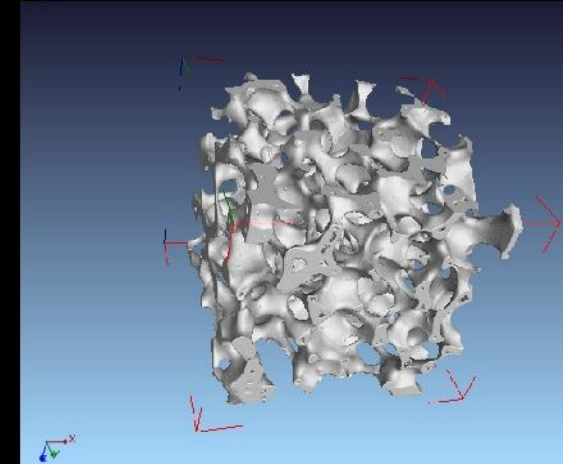
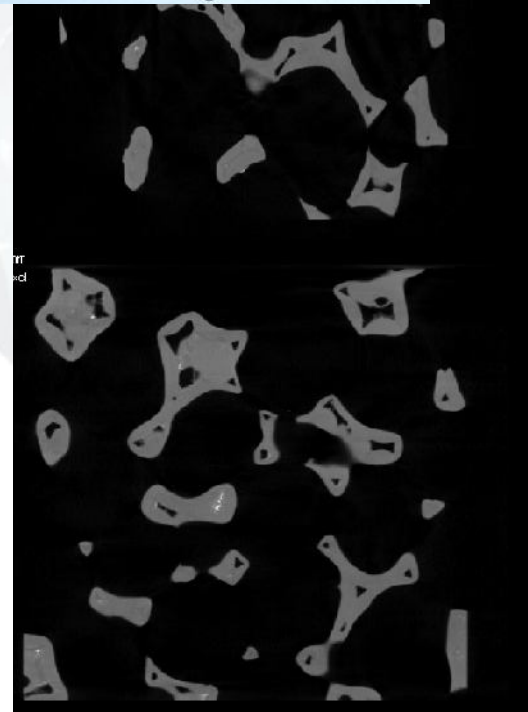
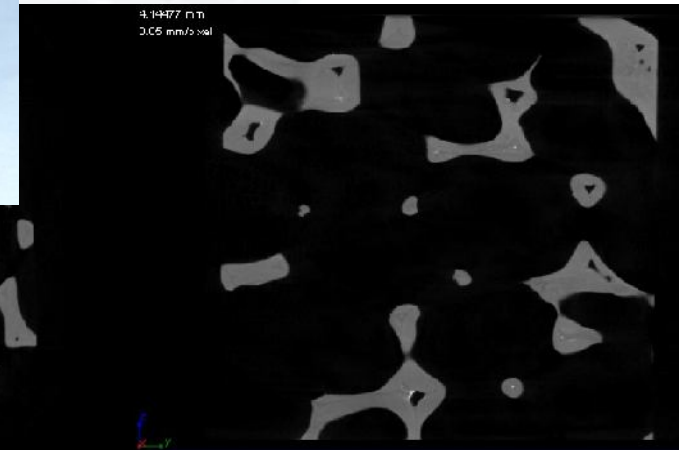


Les Applications : *Industrialisation*

- Mise au point du procédé de fabrication
- Utilisation des résultats des analyses pour injecter dans des **simulations** (éléments finis...)
- Quantification de paramètres pour l'élaboration de **modèles numériques**
- Quantification de paramètres pour **plans d'expériences**

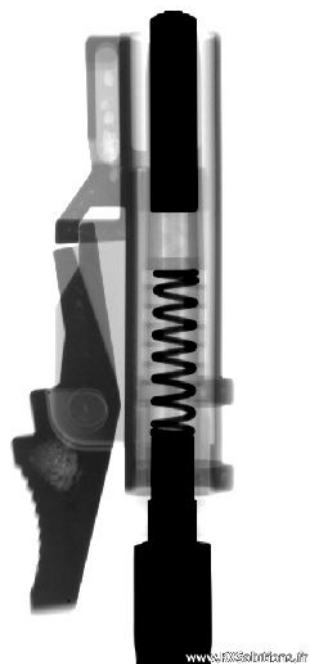


Mousse de Silicium

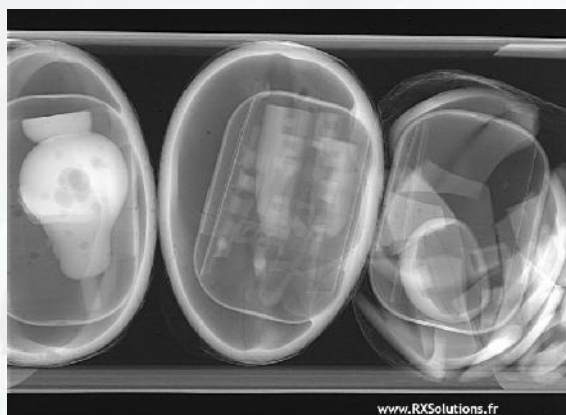


Les Applications : *Production*

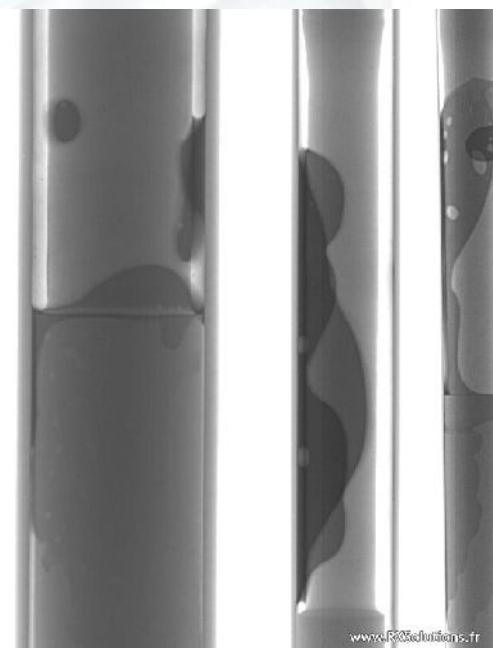
- **Contrôle qualité:**
 - **Contrôle 100%** : principalement **radio** (car la tomographie est souvent trop longue) : présence de pièces, santé matière : détection de fissures, de bulles... Contrôle souvent **qualitatif** (présence/absence, etc.)



Connecteur fibre
optique



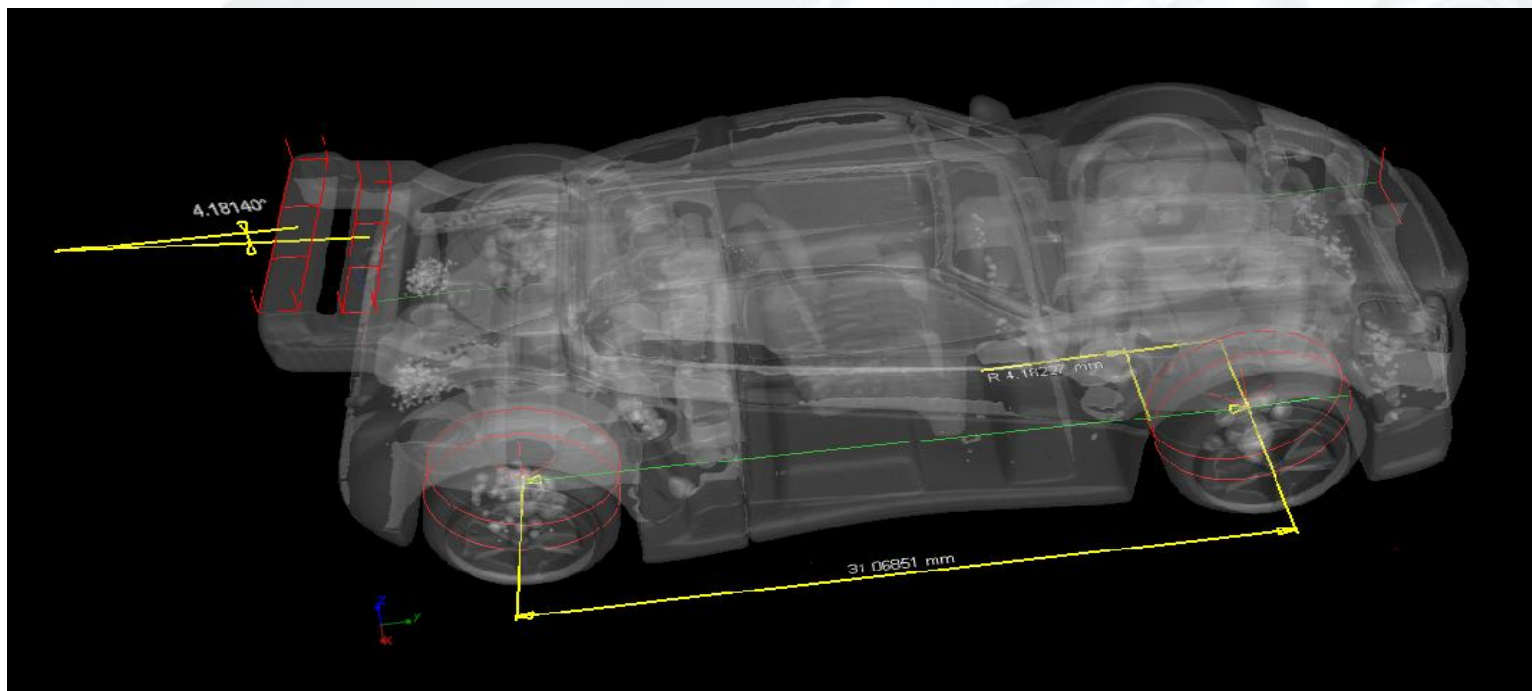
Oeufs surprise



Brasures

Les Applications : *Production*

- **Contrôle statistique** : prélèvement de pièces et contrôle radio ou tomographique. Contrôle plus poussé et généralement **quantitatif** : prise de cotes, mesure de taux de porosités, taille de fissures...



Les Applications : *Retours clients*

- Le contrôle non destructif est **essentiel** en cas de litige: le client et le fournisseur souhaitent garder la pièce intègre pour ne pas détruire de « **preuves** »...
- Recherche de défauts en radio ou tomographie pour déterminer:
 - origine d'un problème et **corriger la production**
 - déterminer la **responsabilité**

Applications : **Secteurs les plus utilisateurs**

- Qualité : secteur où la fiabilité est indispensable :
 - Aéronautique
 - Automobile
 - Médical
- R&D, procédés : lorsque la mise au point d'un procédé est critique : très grand nombre de pièces
 - Moulage
 - Injection
- Technique de CND de plus en plus utilisée car plus abordable et plus accessible

Mise en oeuvre : Chaîne d'acquisition

- La chaîne d'acquisition et de traitement comprend :
 - **Générateur électrique de rayons X** (et non source de radioactivité naturelle) :
 - Générateur haute tension
 - Tube à électron sous vide
 - Cible (souvent en Tungstène) émettrice de photons X lorsqu'elle est bombardée d'électrons (rayonnement de freinage)
 - Le générateur est piloté en tension : modifie la vitesse des électrons et donc l'énergie des photons
 - Le générateur est piloté en intensité (courant) : modifie la quantité d'électrons et donc de photons (on parle de flux)
 - Le générateur est limité en puissance = tension X courant
 - La taille du point d'émission dépend de la puissance

Mise en oeuvre : Chaîne d'acquisition

- **Détecteur à rayons X numérique** (remplace les films argentiques de vos radios du genou)
 - Détection indirecte : Une caméra classique est sensible à la lumière visible. Les photons X sont donc d'abord transformés en lumière visible par un scintillateur puis détectés par une caméra numérique
 - Détection directe : les photons sont directement détectés par des capteurs numériques sensibles aux rayons X (plus récents et plus chers)
 - La taille totale du détecteur détermine la taille de l'objet que l'on peut observer
 - La taille de chaque pixel détermine la précision de détail que l'on pourra percevoir (= résolution)
 - On ne peut pas avoir un très grand capteur avec une très haute résolution
-> compromis

Mise en oeuvre : Chaîne d'acquisition

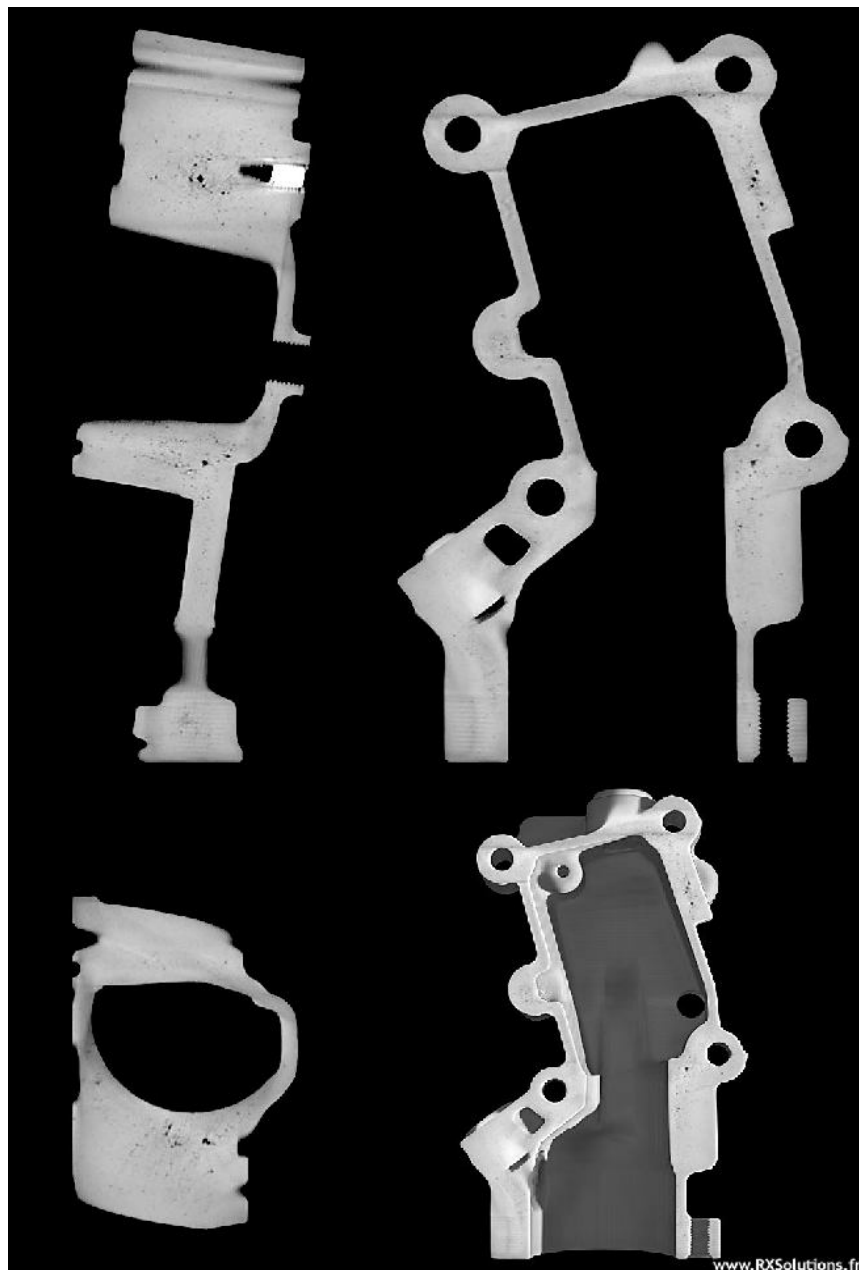
- Une **mécanique précise** et pilotée par ordinateur
- Une **cabine en plomb** pour protéger les utilisateurs
- **Logiciel de pilotage et d'acquisition** des images
- **Logiciel d'analyse** des images

Tous les éléments sont choisis **en fonction de l'application** afin d'**optimiser la qualité de l'image** compte tenu des matériaux, de la taille de l'objet, de l'information recherchée, des temps de cycles...

Mise en oeuvre : *Quelques exemples de machines*







Exemples

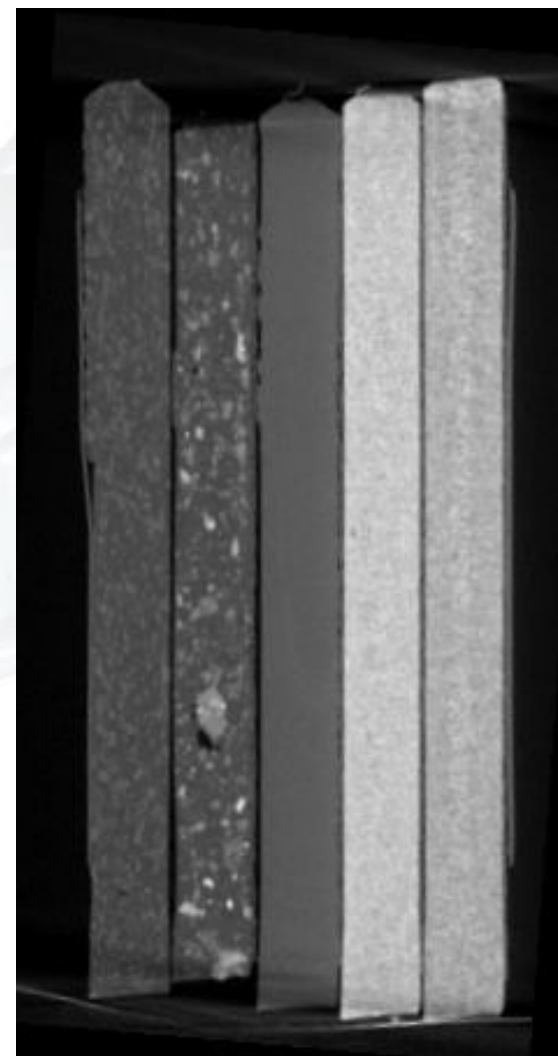
Porosités dans une pompe en aluminium.

Radiographies



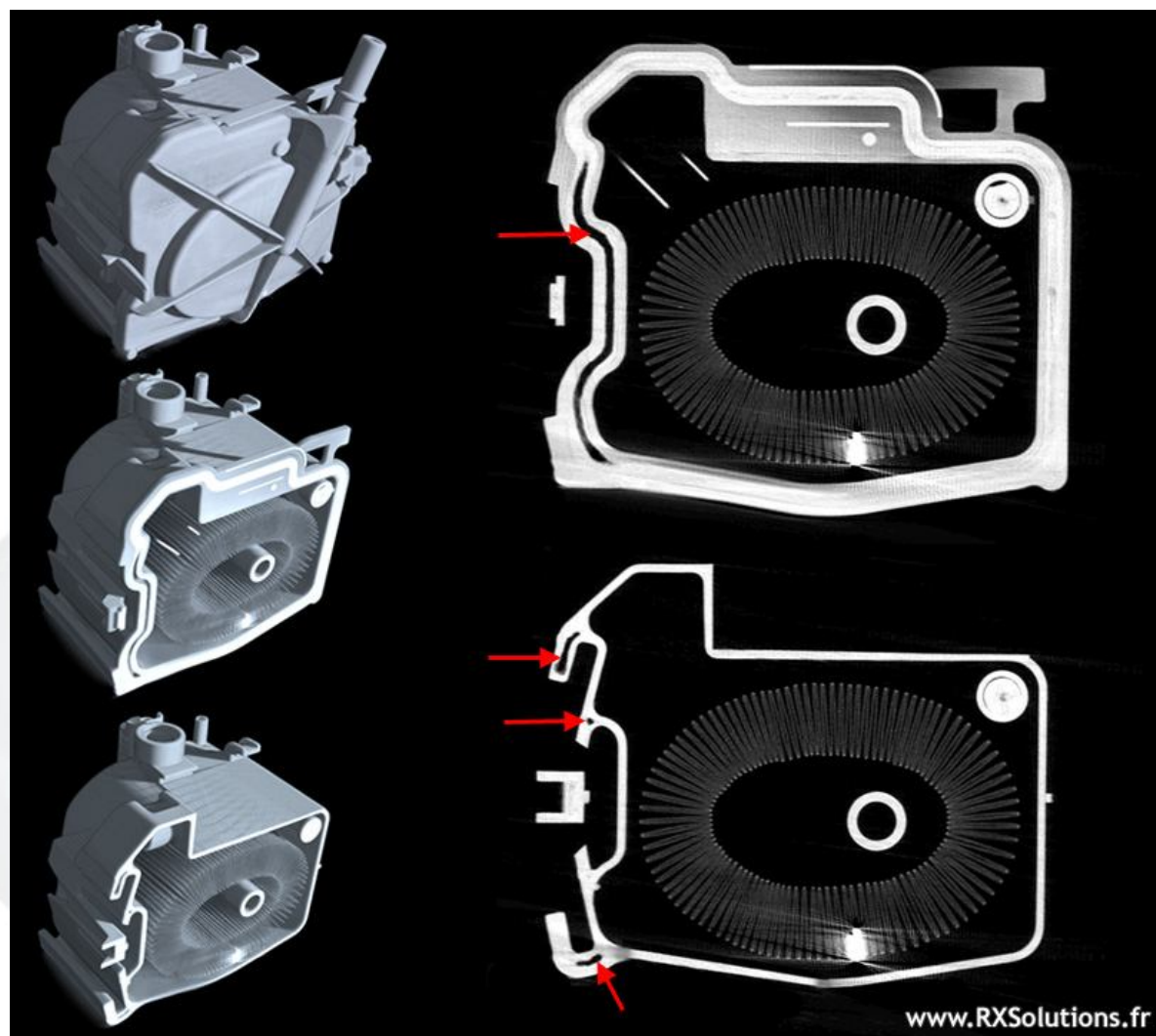
Echantillon : plaques
de composites

Coupe tomographique

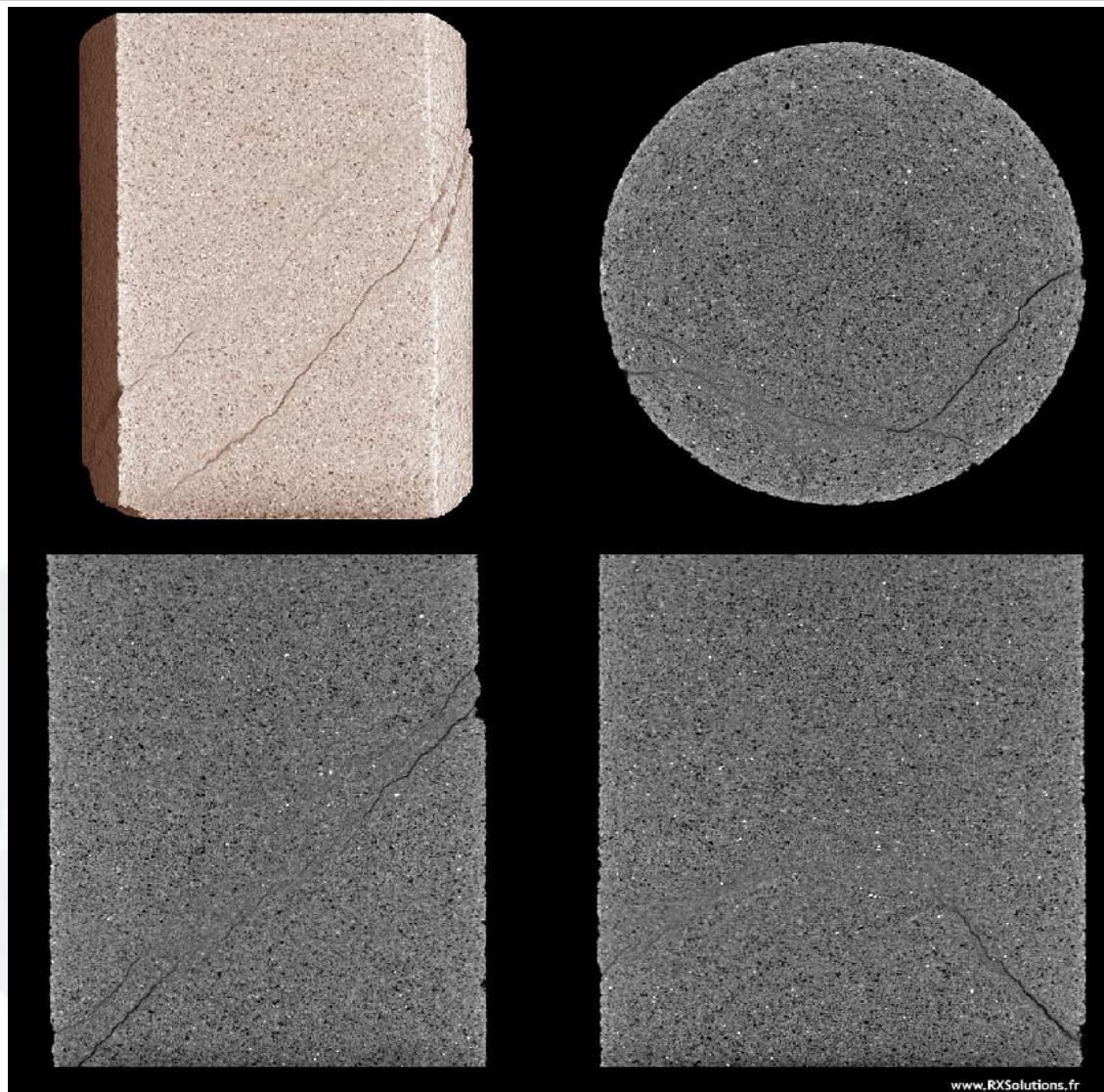




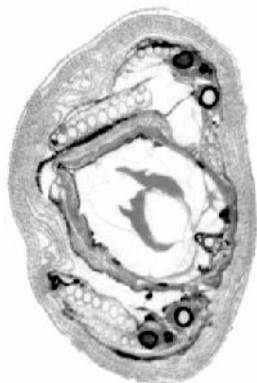
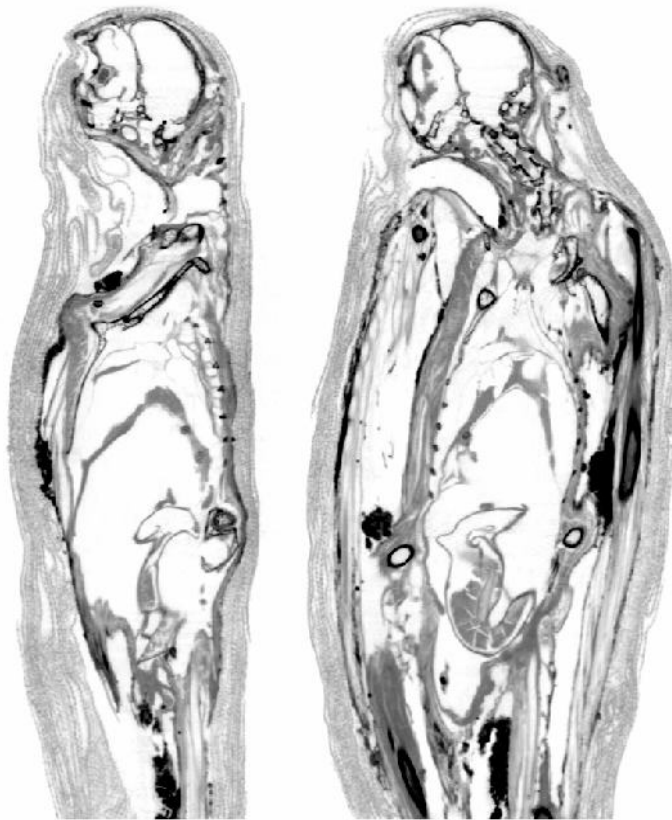
Porosités dans un bouchon d'huile



Filtre (automobile)



Echantillon de roche après
contrainte mécanique



Momie de faucon (Egypte)