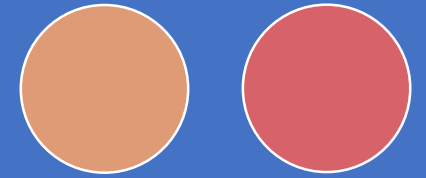


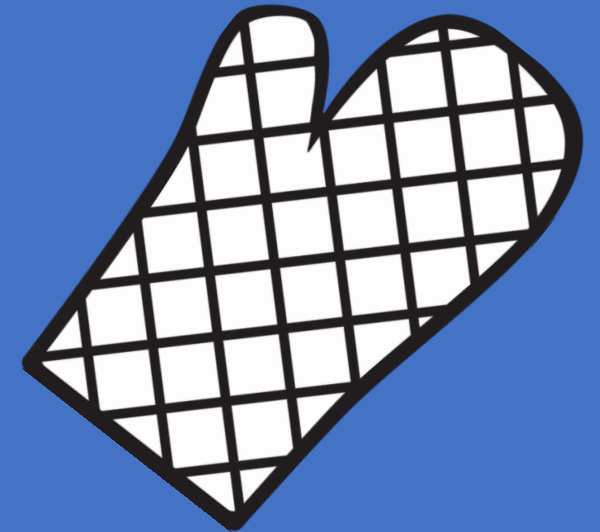
NIVEAUX



FABRIQUER DES CÉRAMIQUES



... en laboratoire



Une **céramique** c'est quoi et à quoi ça sert ?

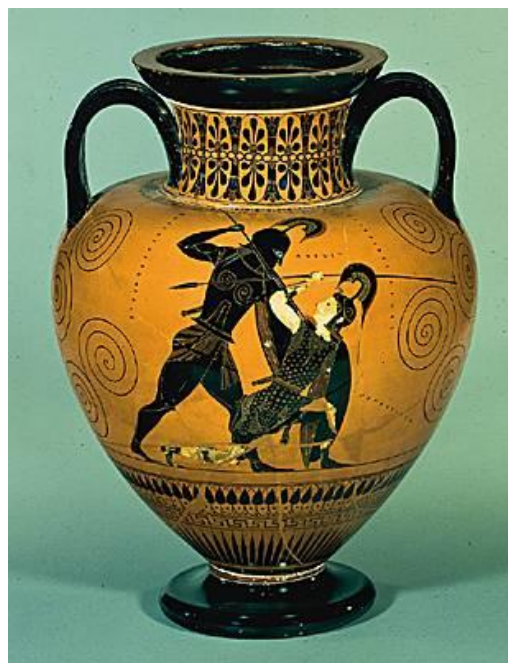


Terres cuites

Kèramos (grec)
= cuit / cuisson



Poteries



Céramiques techniques



Poudre ➡ **matériau fonctionnel**

Une **céramique technique** c'est quoi et à quoi ça sert ?

Créer et **optimiser** des céramiques aux **propriétés physiques spécifiques**

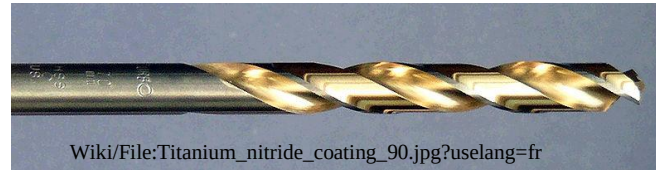
↓
Oxydes



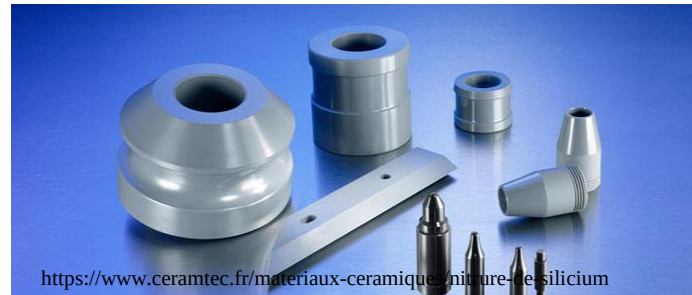
<https://fr.wikipedia.org/wiki/Oxyde#/media/Fichier:Bristol.blue.glass.arp.750pix.jpg>

Verre teinté en bleu par un ajout d'oxyde de cobalt

↓
Non-Oxydes



[Wiki/File:Titanium_nitride_coating_90.jpg?uselang=fr](https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Titanium_nitride_coating_90.jpg?uselang=fr)



<https://www.ceramtec.fr/materiaux-ceramique/niture-de-silicium>

Matériau céramique pour applications extrêmes

↓
Céramiques composites



<https://www.modeintextile.fr/composites-a-matrice-ceramique-solution-moteurs-tres-chauds>

Composites à matrice céramique : moteurs très chauds

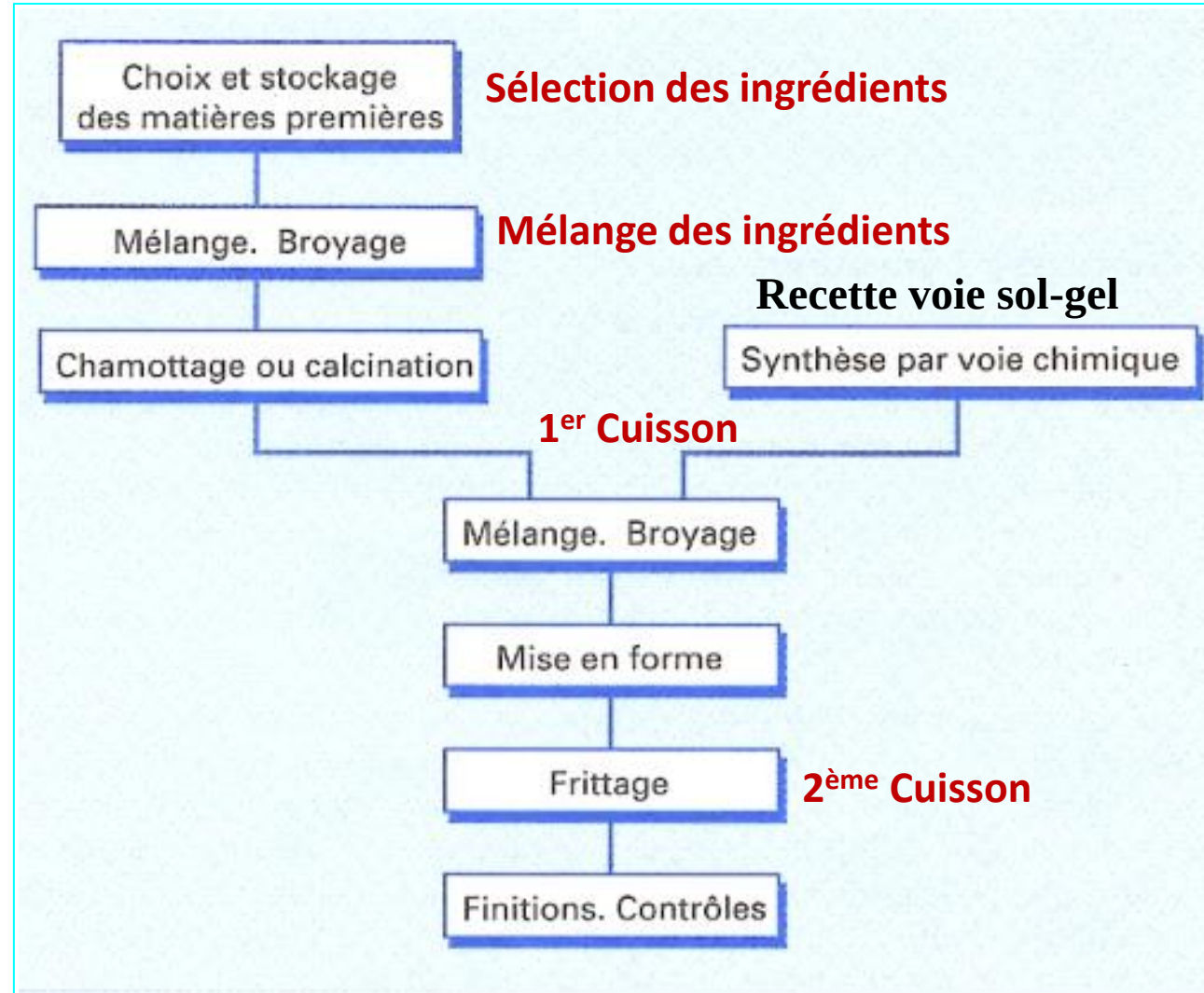
Principe général de la fabrication d'une céramique

Fabriquer une céramique nécessite un laboratoire, les bons outils et des ingrédients spécifiques...

... tout comme une recette de cuisine !

Plusieurs « recettes » sont possibles.

Recette voie solide



Recette 1, **voie solide**

La recette « **voie solide** »

Comme dans toute recette, il faut **connaître et rassembler les ingrédients** dont on a besoin. Pour cela, les scientifiques ont recours aux **équations chimiques** dont voilà un exemple :

Les ingrédients (poudres solides)



Carbonate de
potassium

Carbonate de
sodium

Pentoxyde de
niobium

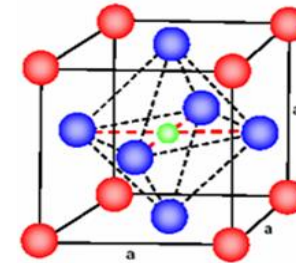
→

Le résultat (poudre solide + gaz)



Sodium potassium
niobate

Dioxyde de
carbone



(K⁺, Na⁺) Nb⁵⁺ O²⁻

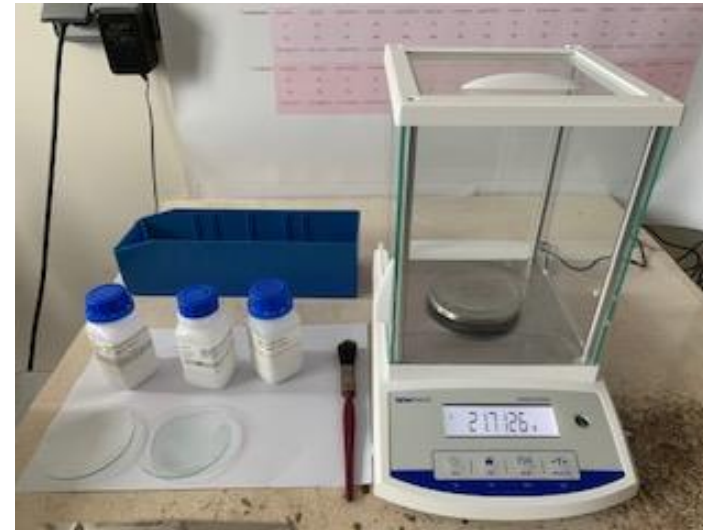


Comme dans toute recette, il faut d'abord **sélectionner** et **peser les ingrédients** :

Poudres commerciales



Pesée des poudres



Les poudres (les éléments chimiques de l'équation) **sont broyées et mélangées** avec un **broyeur à billes...**



Le « récipient »

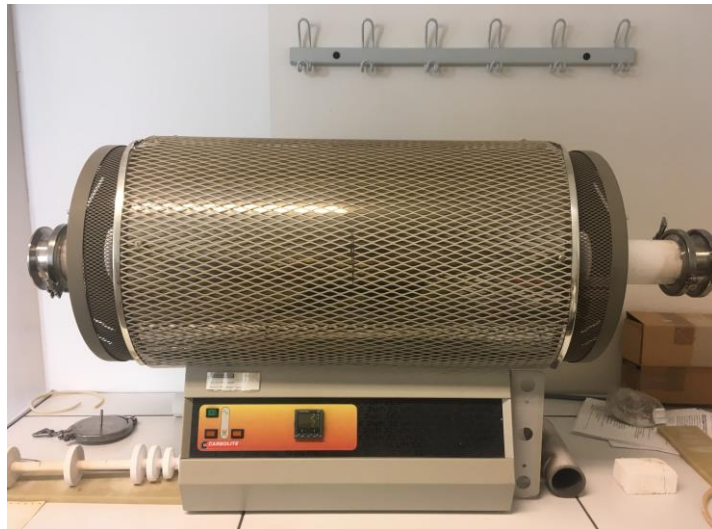


Le « robot de cuisine »



...comme on mélange la farine et le sucre avec un robot de cuisine.

Four tubulaire



Programme de cuisson



Froid - chaud
de 20° à 830°

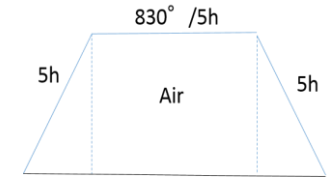
5h

Cuire à
à 830°

5h

Faire tomber la
température à 20°

5h



Poudre « cuite » = calcinée



On obtient la **composition que l'on cherche**

ex: $K_{0,5}Na_{0,5}NbO_3$

(Sodium potassium niobate = noté KNN)

Poudre « cuite »



Après la cuisson no1, les ingrédients ont formé le composé chimique attendu par l'équation chimique.

Mais le résultat est toujours sous forme de poudre !

La céramique va à cette étape **prendre la forme de pastilles dures** grâce au **moulage et la compression** de la poudre.

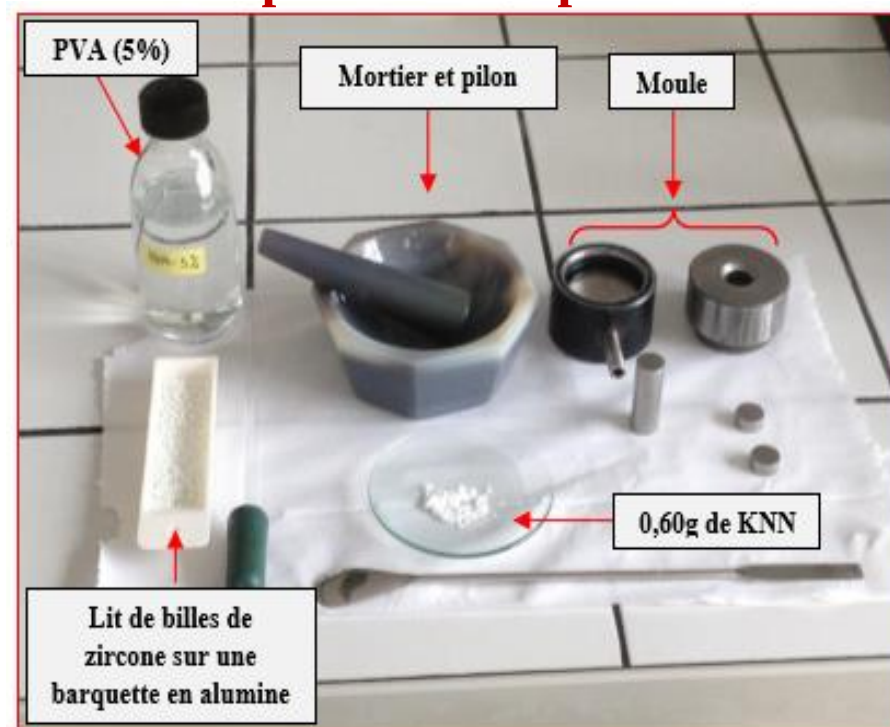
Poudre « cuite »



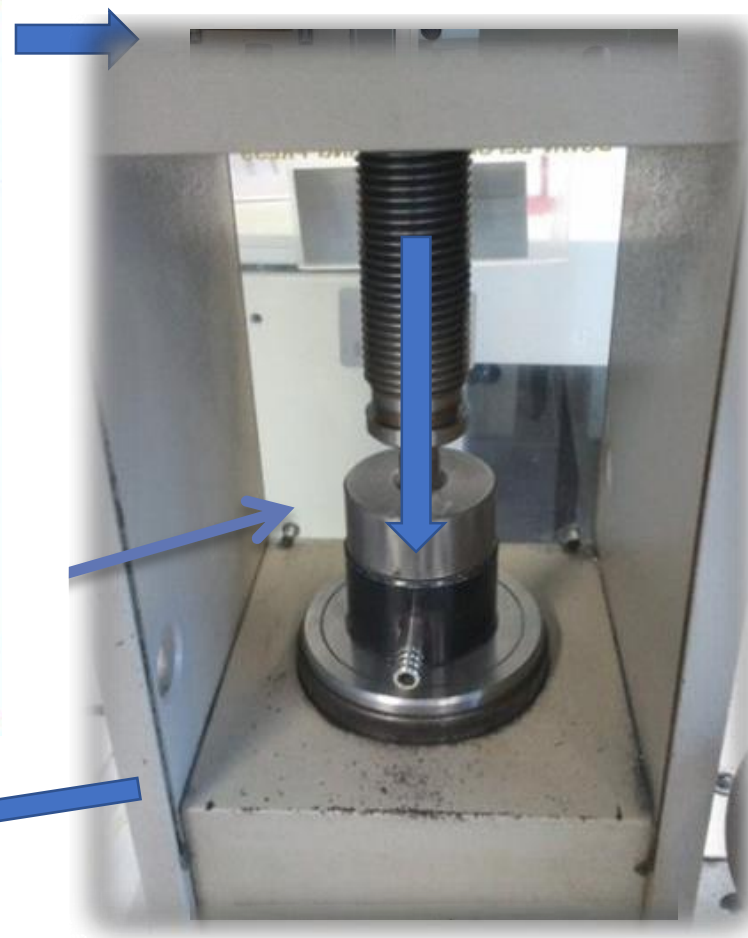
Pastille de céramique mise en forme



Préparation des pastilles



Presse uniaxiale manuelle



La deuxième cuisson rendra les **pastilles dures** et **plus denses**.

Four tubulaire



Pastilles « cuites » = densifiées



La recette est maintenant terminée ! Son résultat, les **pastilles de céramiques serviront d'échantillons pour caractériser le matériau**.

C'est un peu comme la « dégustation finale du gâteau ».

Recette 2, **voie sol-gel**

La première étape de la synthèse (notre recette) est la même, il faut **connaître et rassembler les ingrédients** dont on a besoin.

Voilà l'**équation chimique** utilisée dans cet exemple :

Les ingrédients (solutions liquides)

Le résultat (poudre solide + gaz)



Nitrate de
lanthane

Nitrate de
strontium

Nitrate de
cobalt

Nitrate de
fer

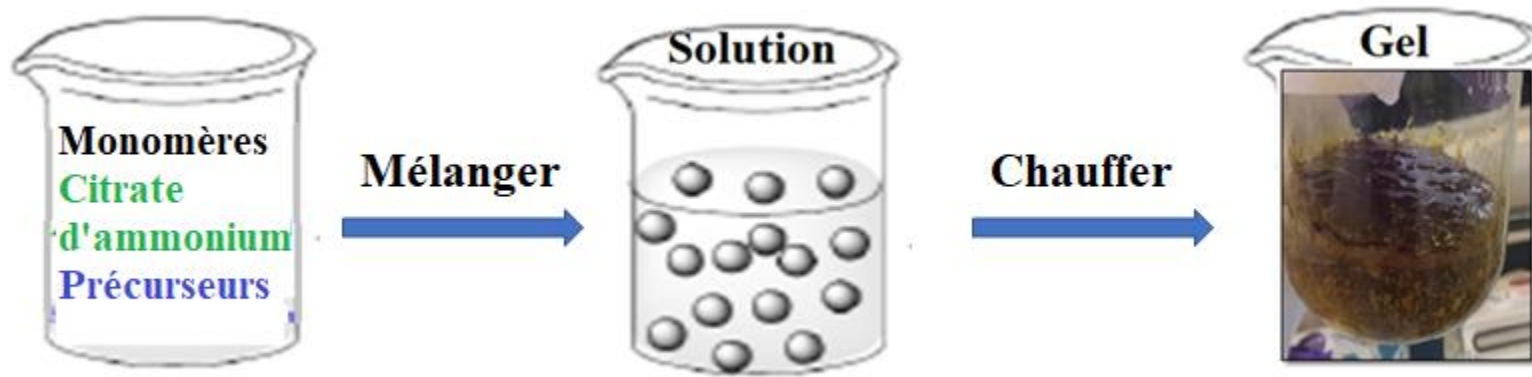
Citrate
d'ammonium

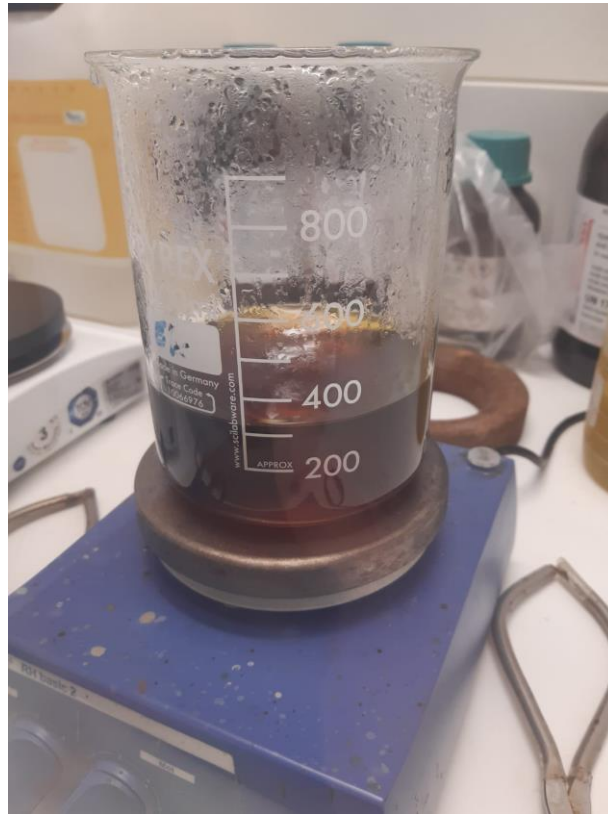
Ferrite de lanthane
strontium-cobalt

Pesée des ingrédients avec des **balances**
très précises :

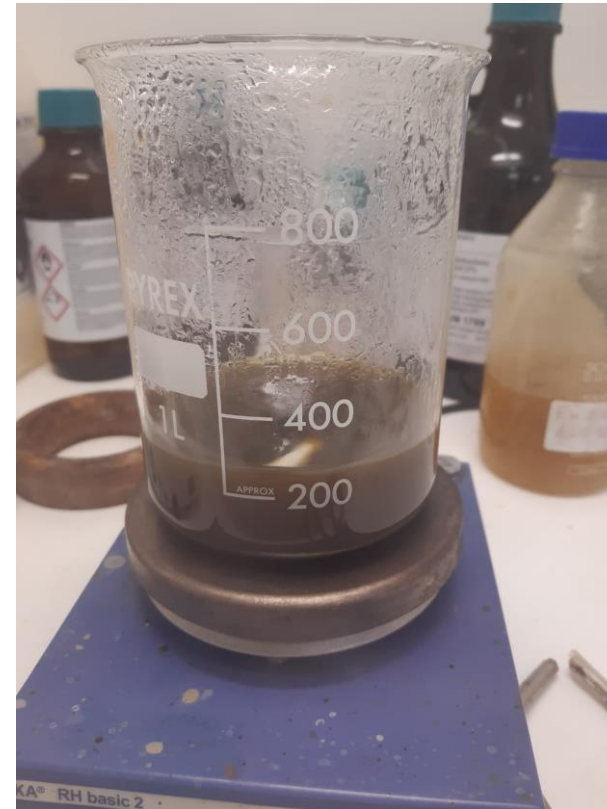


Les ingrédients liquides sélectionnés et pesés sont **mélangés dans un bécher**.
On note que cette fois, **au début, notre mélange est liquide**.
Le mélange est ensuite chauffé, son réchauffement provoque la formation d'un gel dans le bécher.





**Mélange des précurseurs
liquides, le citrate
d'ammonium et les
monomères**



**Formation du gel par
chauffage**

Le gel est mise dans une « casserole » et ensuite au **four de calcination** pour la cuisson no1.

Four de calcination



Programme de cuisson



Froid - chaud
de 20° à 1000°

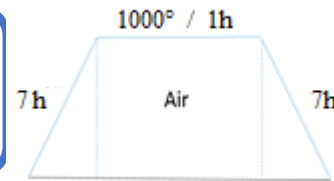
7h

Cuire à
à 1000°

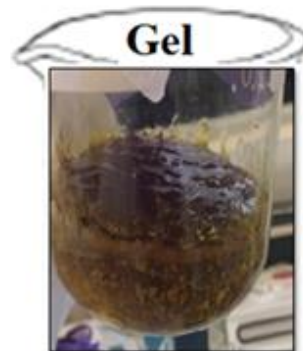
1h

Faire tomber la
température 20°

7h



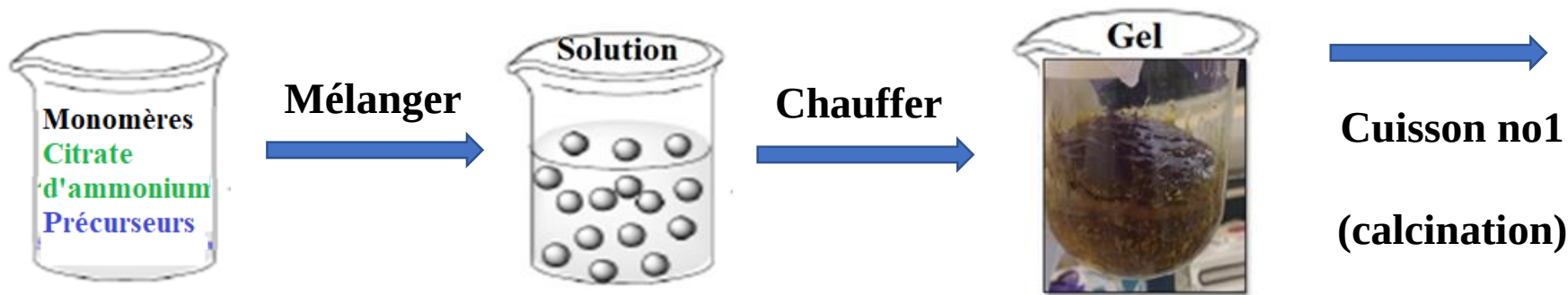
Cuisson (calcination du gel)



On obtient la **composition que l'on cherche**.

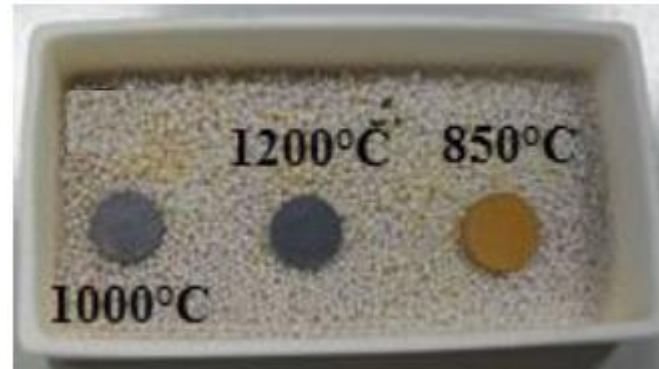
ex: $\text{La}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{Co}_{0,2}\text{Fe}_{0,8}\text{O}_3$
(Ferrite de lanthane strontium-cobalt = noté LSCF)

Reprendre les étapes de la recette no1 : compresser la poudre calcinée (sortie du four) en **pastilles** puis les faire cuire une deuxième fois (**cuisson no2**)!



La recette est maintenant terminée ! Son résultat, les **pastilles de céramiques serviront d'échantillons pour caractériser le matériau.**

C'est un peu comme la « dégustation finale du gâteau ».

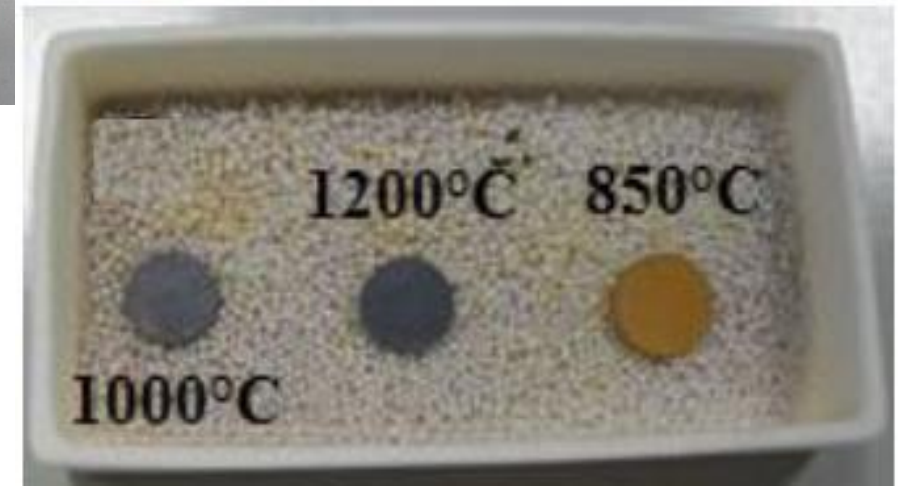


Mise en forme
Cuisson no2

En choisissant **divers ingrédients** (formules chimiques) et **différentes recettes**, les scientifiques peuvent créer un **très grand nombre d'échantillons de multiples céramiques** !



Recette 1, **voie solide**



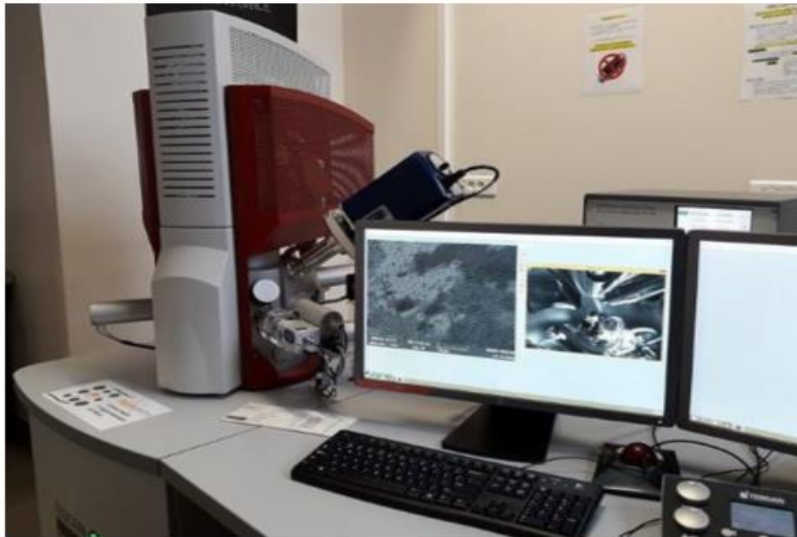
Recette 2, **voie sol-gel**

Caractérisations : tests des résultats des recettes !

Caractérisations : « regarder le gâteau »

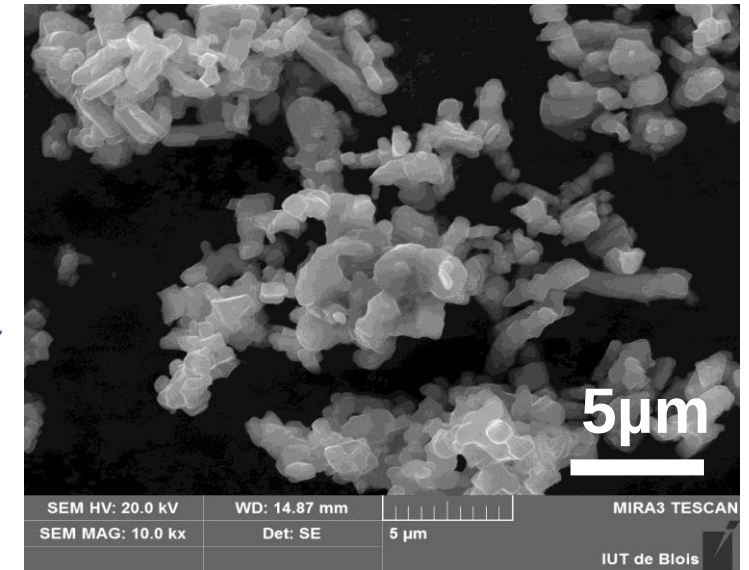
Le **microscope** est capable de **produire des images en haute résolution** de la **surface** d'un échantillon (**poudre ou pastille** dans notre cas) :

- Grains nanométriques « blancs » pour la poudre (**fine**).
- Grains micrométriques pour les pastilles (**plus denses**).

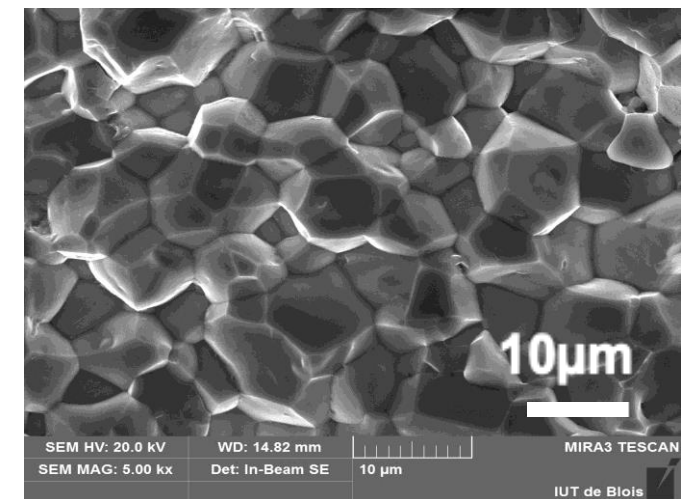
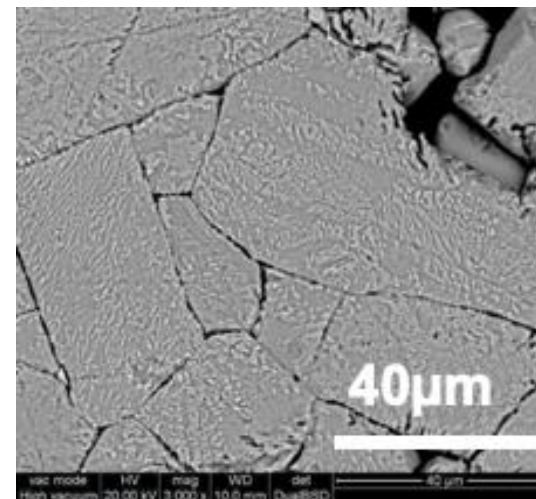


**Microscope électronique
(MEB)**

Poudre « cuite »

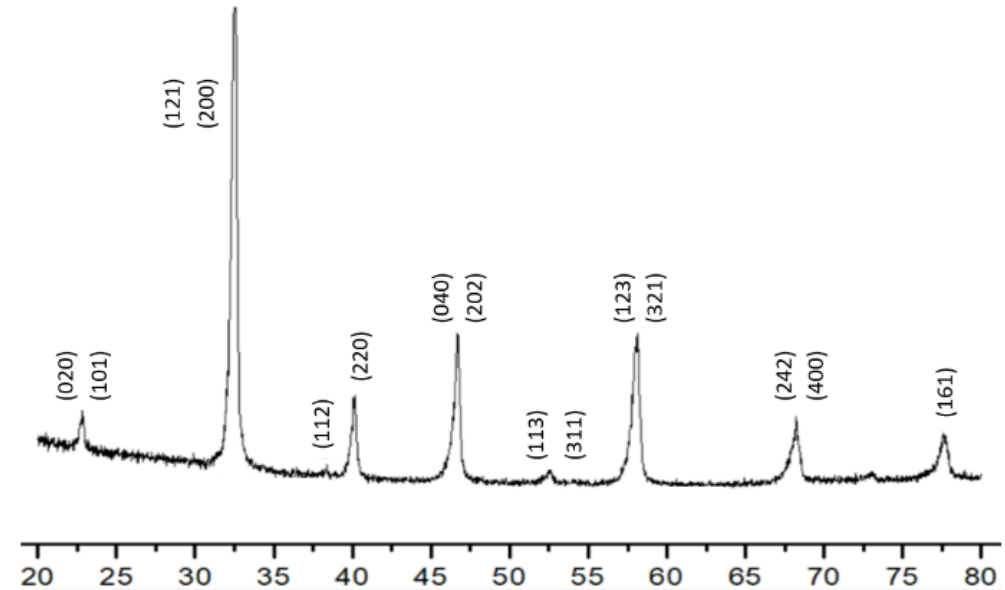


Pastille densifiée



Caractérisations : « goûter le gâteau »

Le **diffractomètre des rayons X** est capable d'identifier la structure d'un composé. Le résultat de cette analyse (diffractogramme RX) permet la modélisation de la structure du nouveau composé pour savoir « si la recette est réussie ».

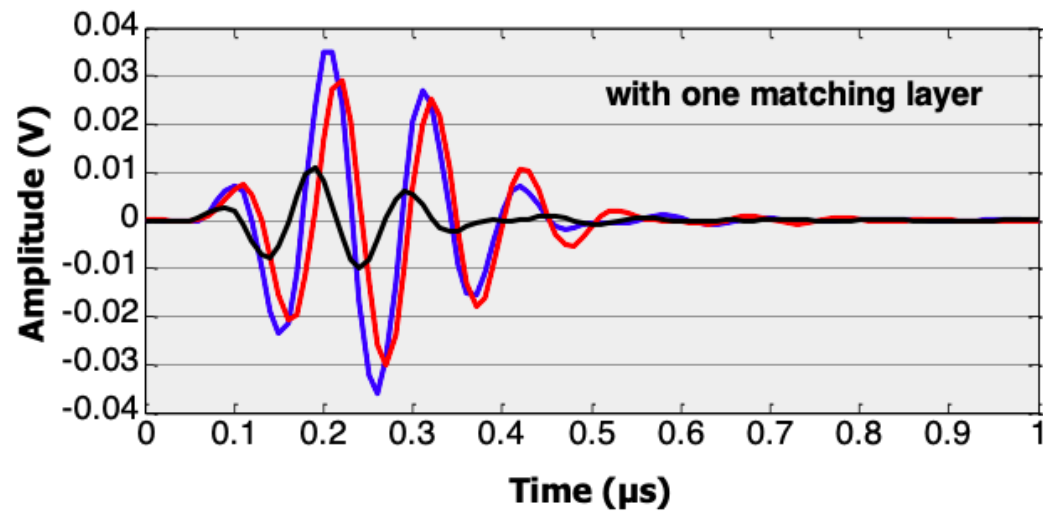


Diffractogramme RX avec indexation des pics

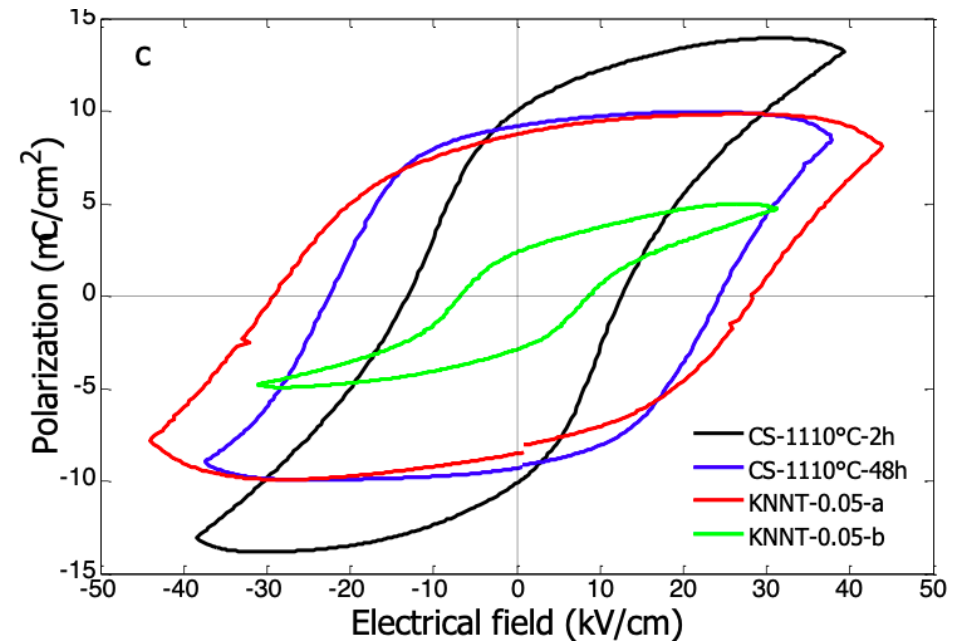
Diffractomètre des rayons X

Caractérisations : « vérifier la texture »

Les **matériaux** sont ensuite testés par divers méthodes pour déterminer leurs propriétés comme par exemple « vérifier la texture d'un gâteau ».



Exemple 1 - **Echos ultrasonores :**
comprendre la réponse « sonore » des
nouveaux matériaux



Exemple 2 - **Cycles ferroélectriques :**
comprendre la réponse « électrique »
des nouveaux matériaux



Suite aux **différentes tests**, nous pouvons réaliser avec ces **nouveaux matériaux** la **conception de dispositifs** pour **diverses applications**.

Applications : que faire quand la recette est bonne ?

Applications : utilisations des matériaux synthétisés

But : Créer et optimiser des **céramiques** aux **propriétés physiques spécifiques** pour diverses applications

Exemple : **céramique** – composante de base pour les **piles** – dispositifs innovants pour les énergies futures

<https://www.murata.com/en-eu>



Stockage d'énergie

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Condensateur>



Stockage d'information

<https://media.toyota.ca/fr>



Sources d'énergie futures

C'est la fin !
Merci pour votre lecture !!!

NB : les étapes de synthèse montrées ici sont réalisées par des professionnels, prenant les mesures de sécurité nécessaires et ne peuvent être reproduites à la maison.