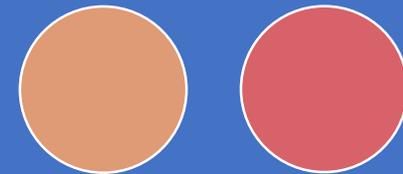
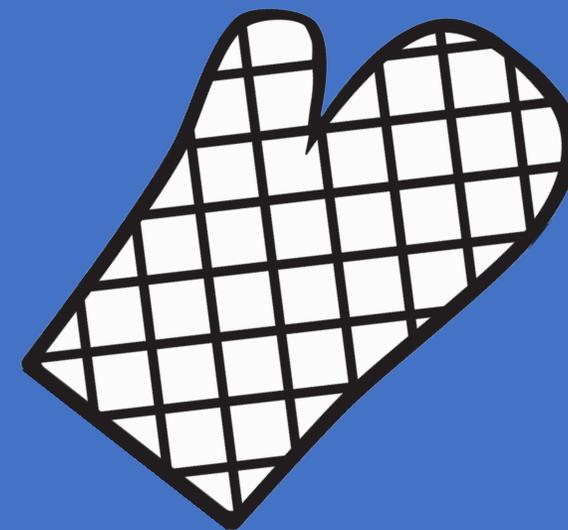


FABRIQUER DES DES CÉRAMIQUES



... en laboratoire



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

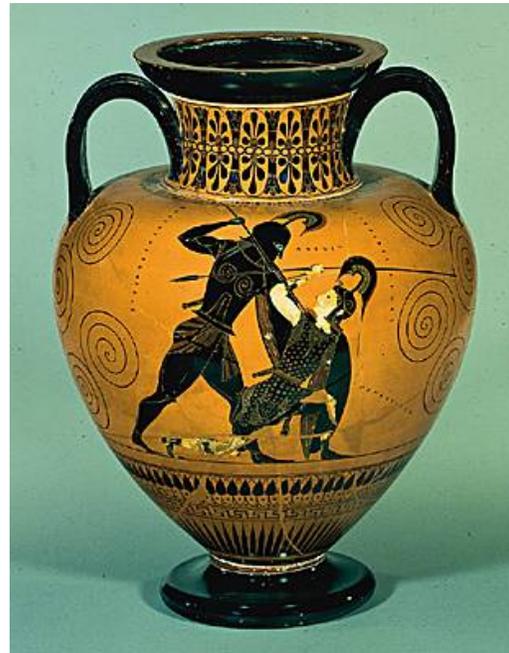


Terres cuites

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**

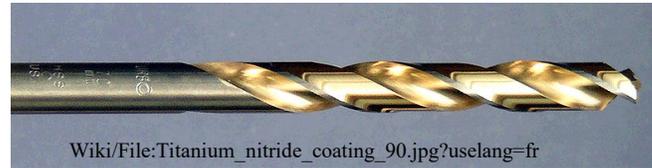
↓
Oxydes



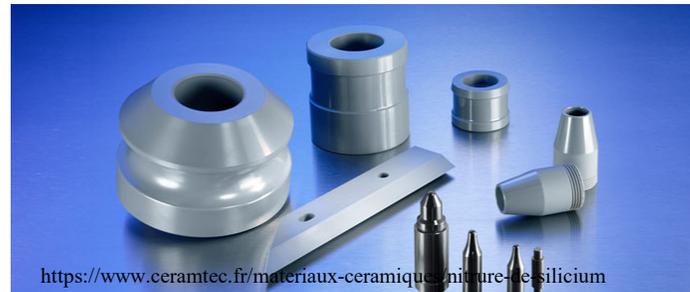
<https://fr.wikipedia.org/wiki/Oxyde#/media/Fichier:Bristol.blue.glass arp.750pix.jpg>

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-ceramiques/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

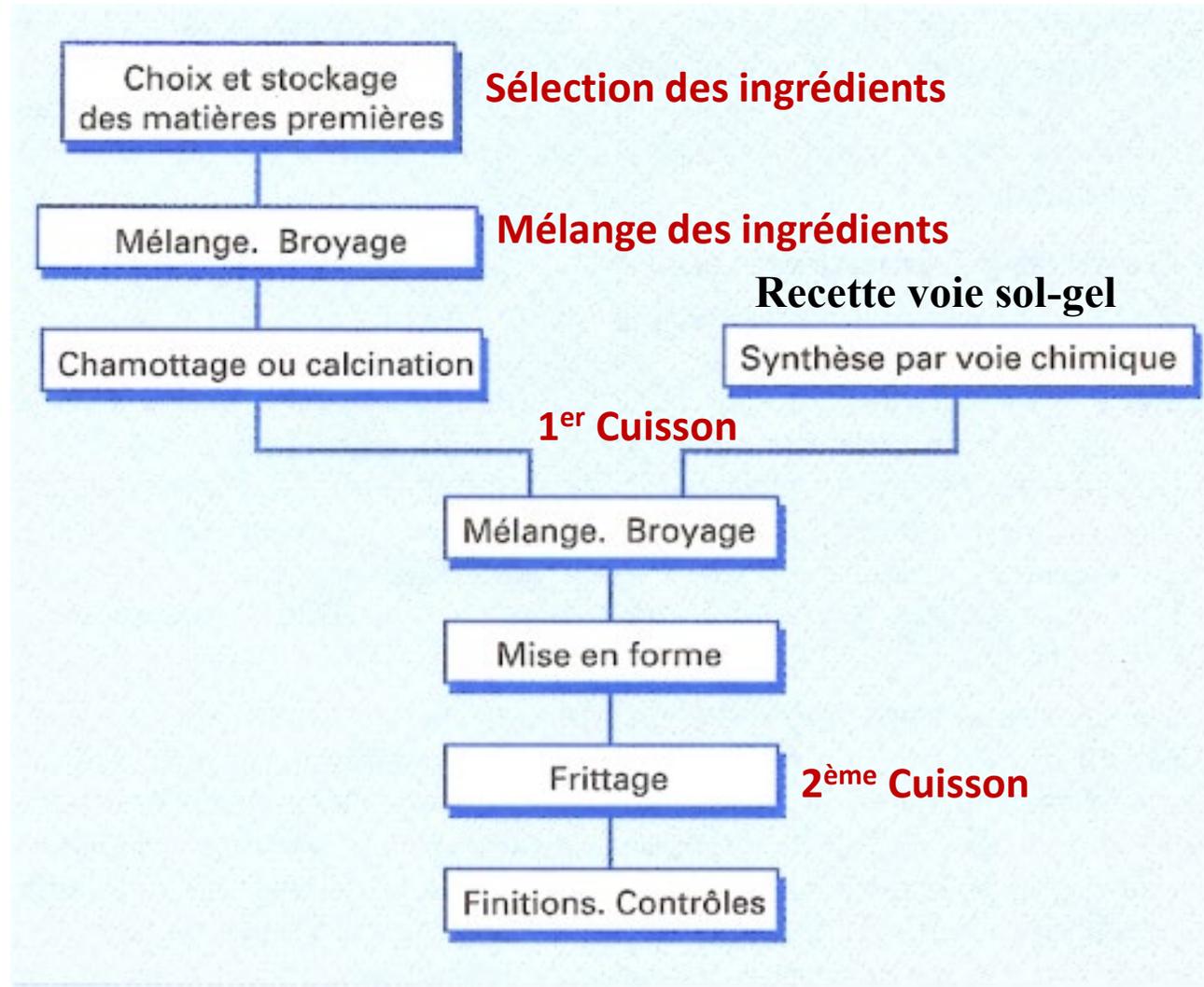
Principe général de la fabrication d'une céramique

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** »

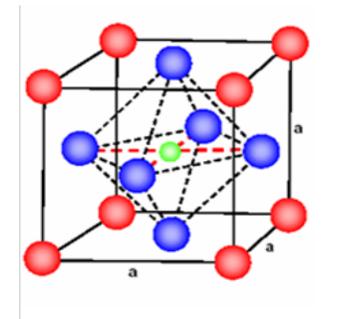
Comme dans toute recette, il faut **connaître et rassembler les ingrédients** dont on a besoin. Pour cela, les scientifiques ont recours aux **équations chimiques** dont voilà un exemple :



Les ingrédients



Le résultat



(K⁺, Na⁺) Nb⁵⁺ O²⁻



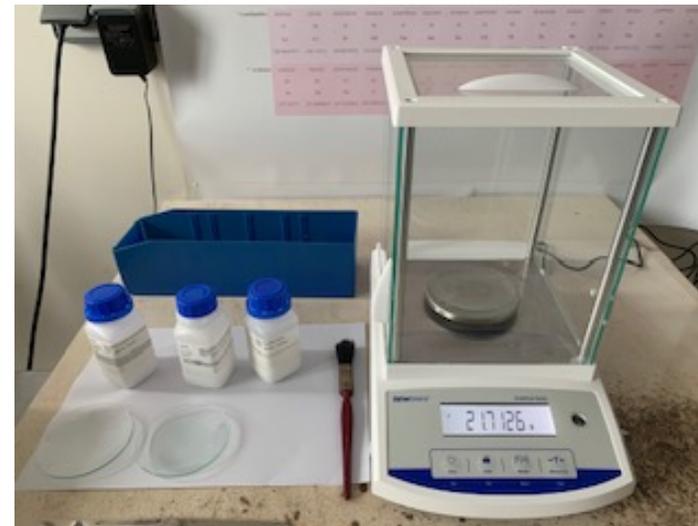
Comme dans toute recette, il faut **connaître et rassembler les ingrédients** dont on a besoin. Pour cela, les scientifiques ont recours aux **équations chimiques** dont voilà un exemple :

Donc : étape 1, sélection et pesée des 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 »

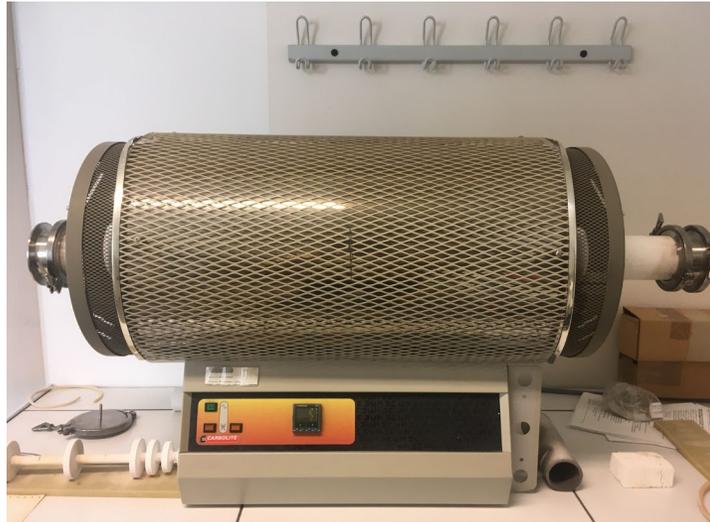


Le « robot de cuisine »



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

Four tubulaire



Programme de cuisson



Froid - chaud
de 20° à 830°

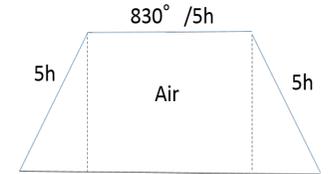
5h

Cuire à
à 830°

5h

Faire tomber la
température 20°

5h



Poudre "cuite" = calcinée

On obtient la **composition que l'on cherche**
ex: $K_{0,5}Na_{0,5}NbO_3$



Poudre « cuite »



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

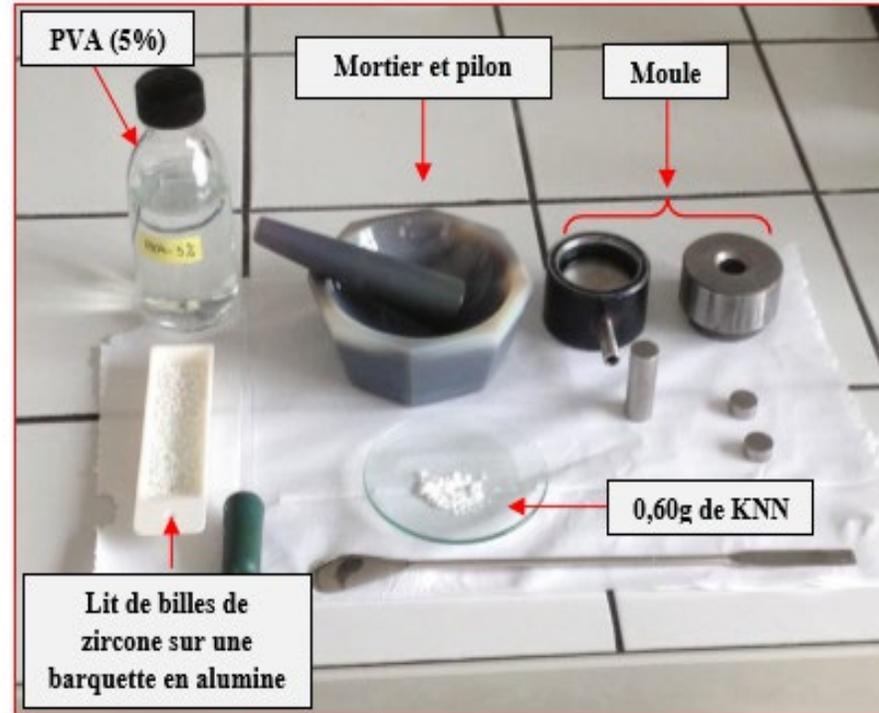
Mais le résultat est toujours sous forme de poudre !

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

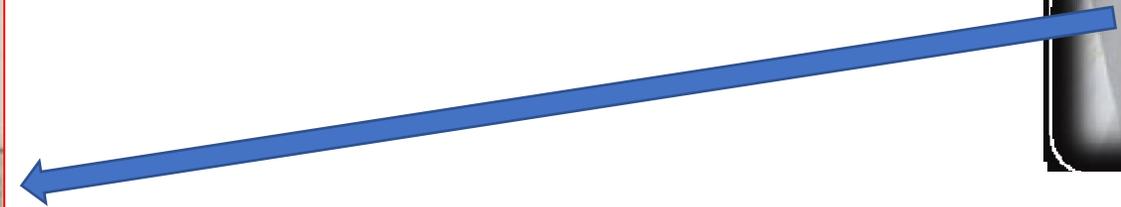
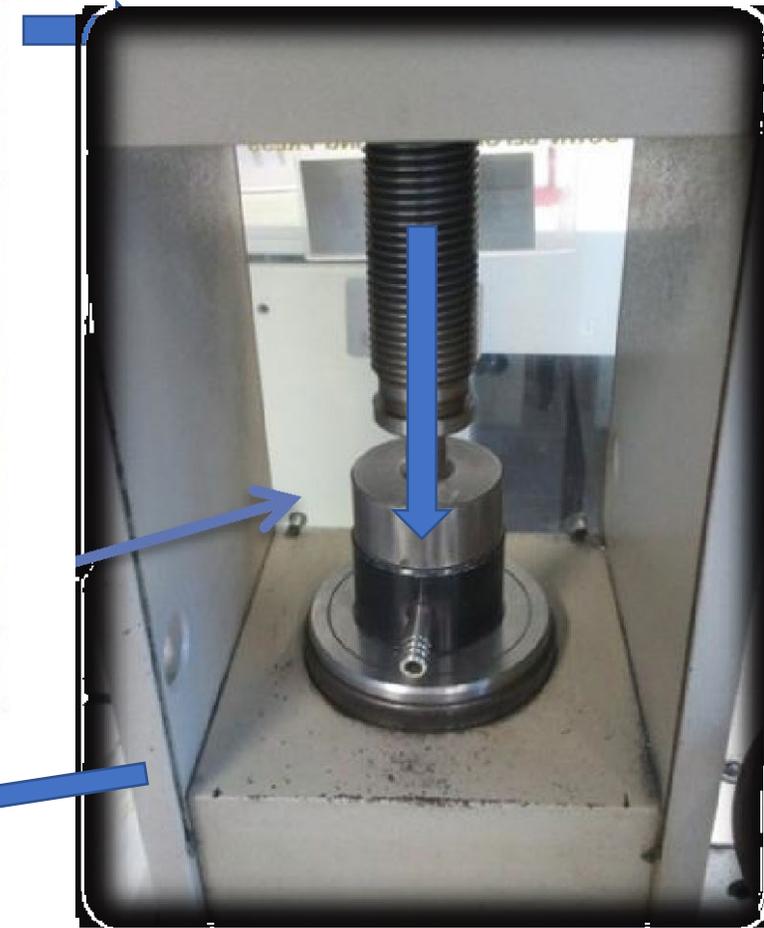
Poudre « cuite »



Préparation des pastilles



Presse manuelle



Pastille de céramique mise en forme



La deuxième cuisson rendra les pastilles dures et plus denses. La céramique va à cette étape **prendre la forme de pastilles dures** grâce au **moulage et la compression** de la poudre.

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 la « dégustation finale ».

Recette 2, **synthèse 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 :

Le résultat

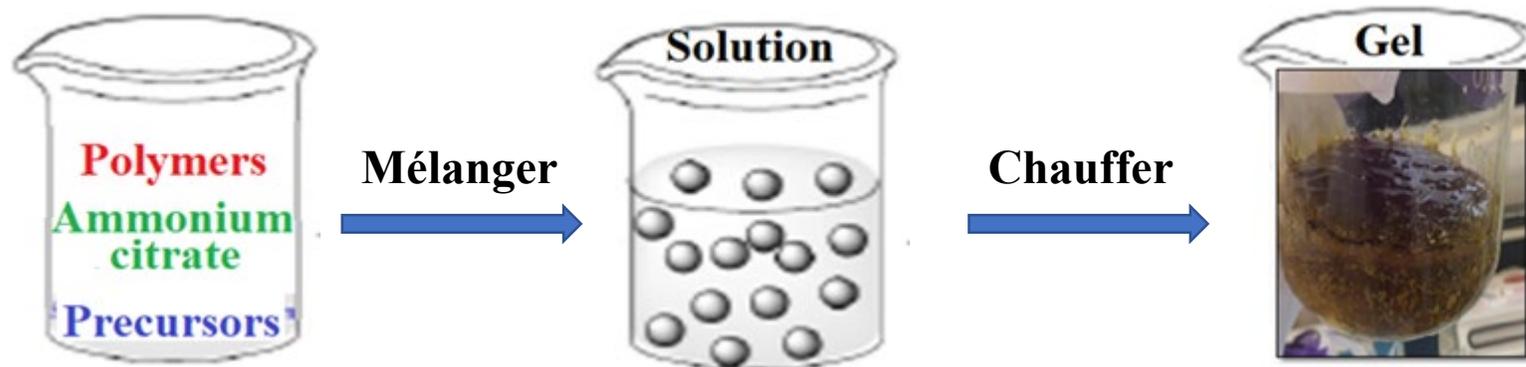


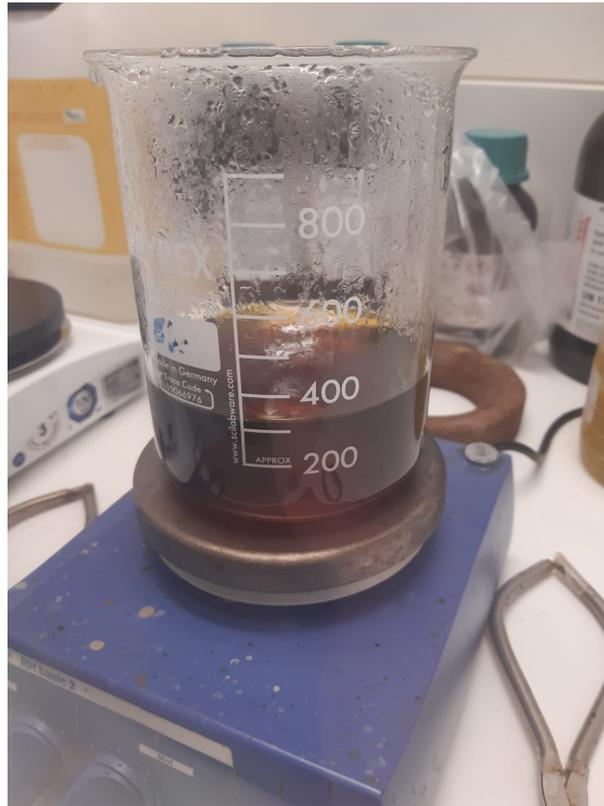
Les ingrédients



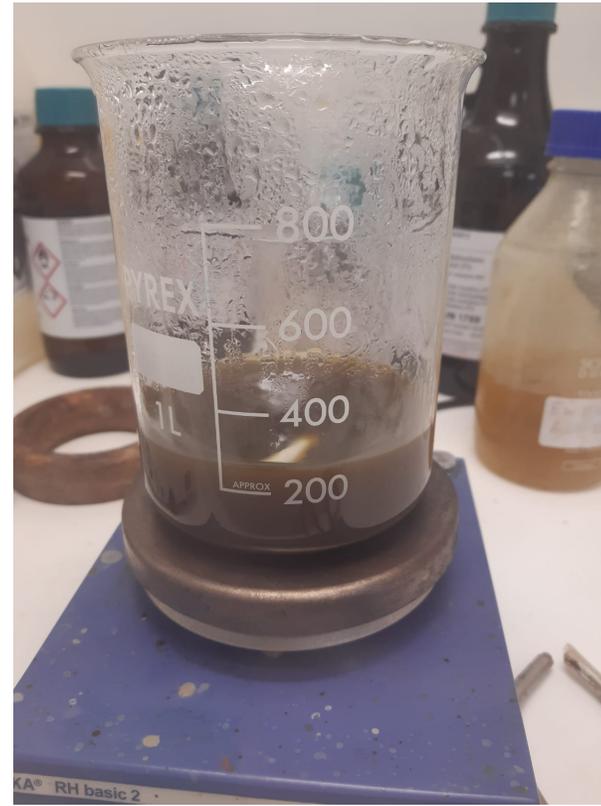
Pesée des ingrédients avec des balances très précises

Les ingrédients pesés et sélectionnés 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 précurseurs
liquides et polymères**



Formation du gel

Four de calcination



Froid - chaud
de 20° à 1000°

7h

Cuire à
à 1000°

5h

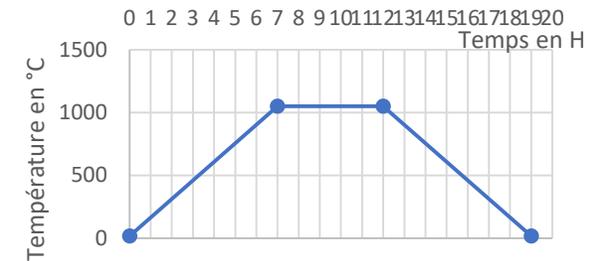
Faire tomber la
température 20°

7h

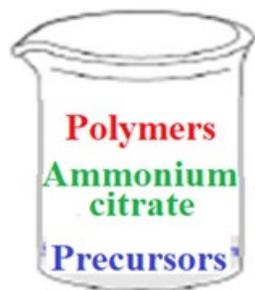
Programme de cuisson



Cuisson (calcination du gel)



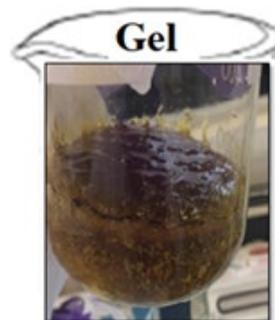
Reprendre les étapes de la recette no1 : compresser la poudre calcinée sortie du four en pastilles puis les faire cuire une deuxième fois !



Mélanger



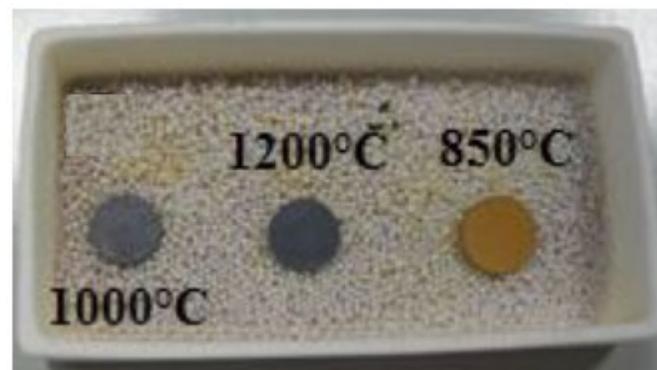
Chauffer



1^{er} Cuisson
(calcination)

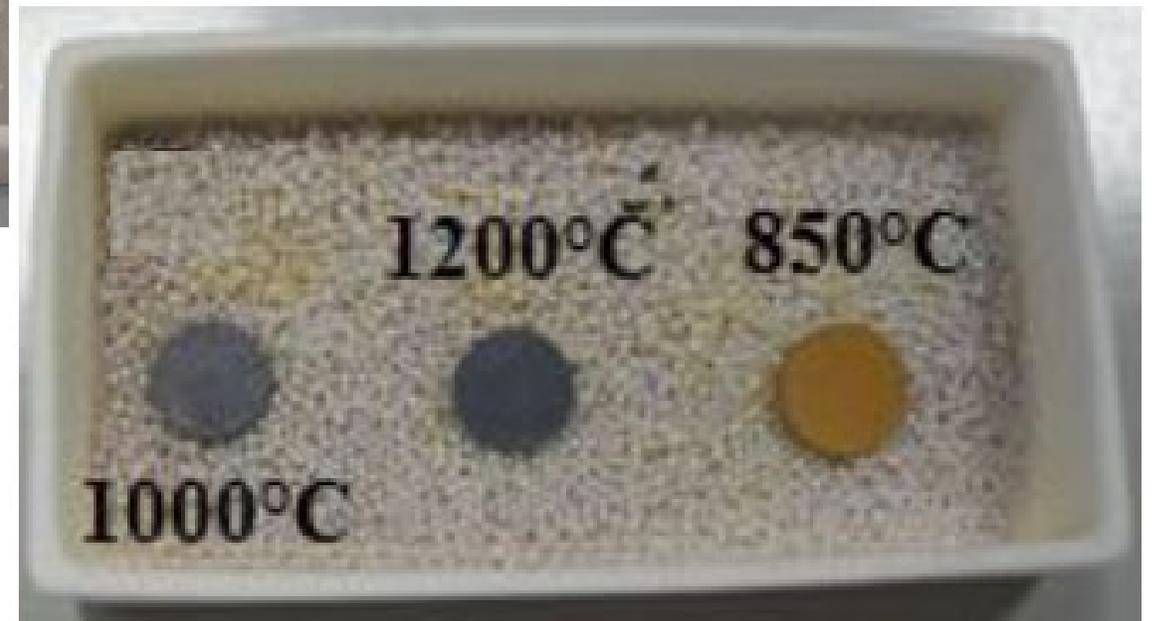


Caractérisations =
« dégustation du gâteau »



Mise en forme
2^{ème} Cuisson

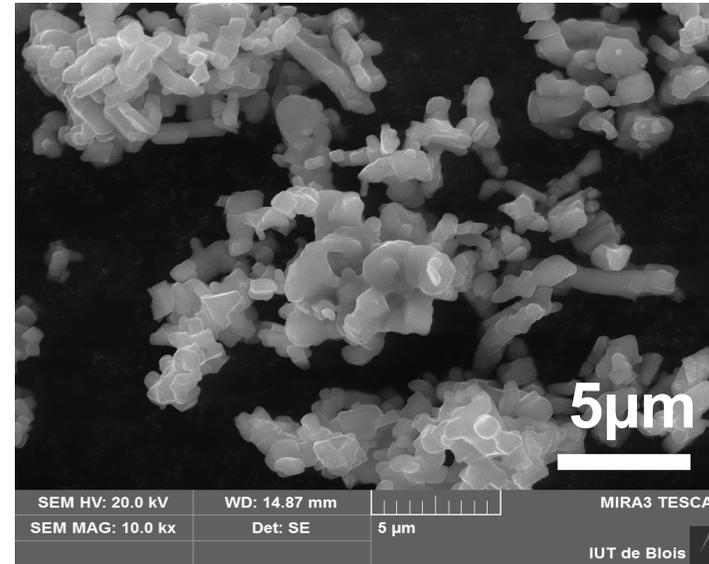
En choisissant **divers ingrédients** (formules chimiques) et **différentes recettes**, les scientifiques peuvent créer un **très grand nombre d'échantillons de multiples céramiques** !



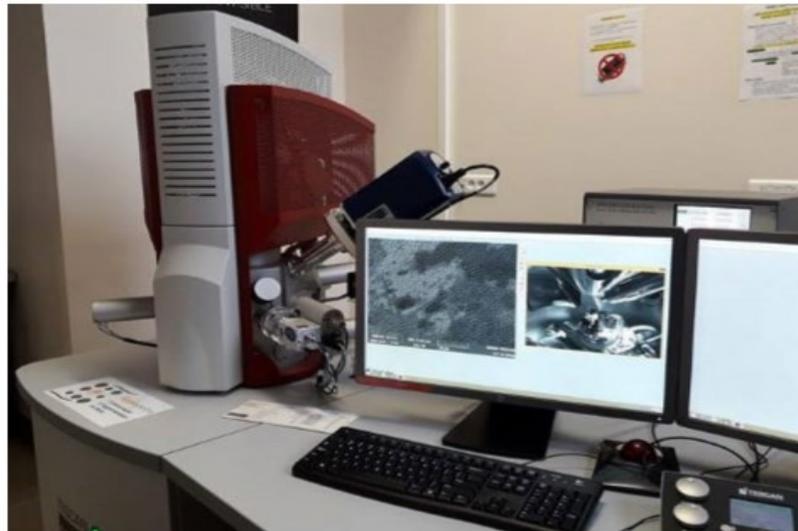
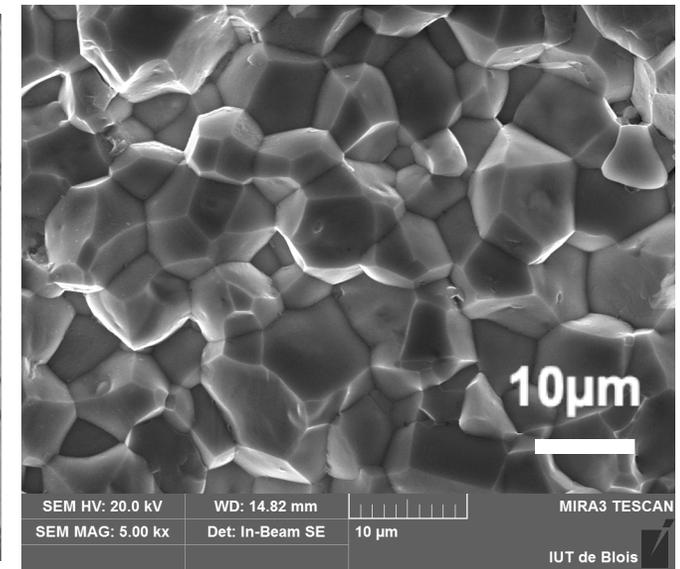
Caractérisations : tests des résultats des recettes !

Caractérisations

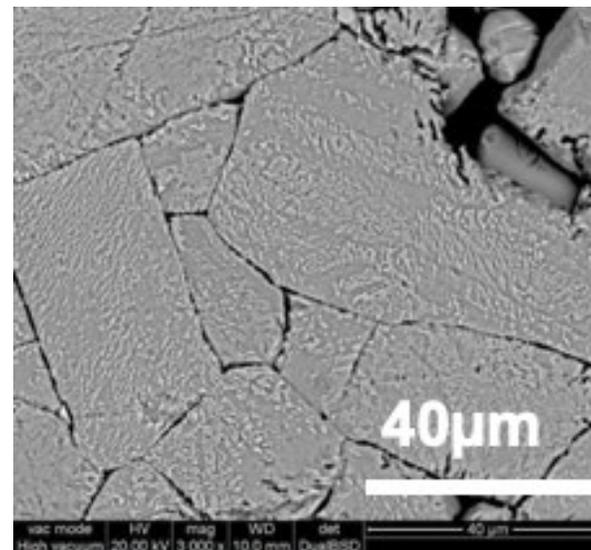
Poudre



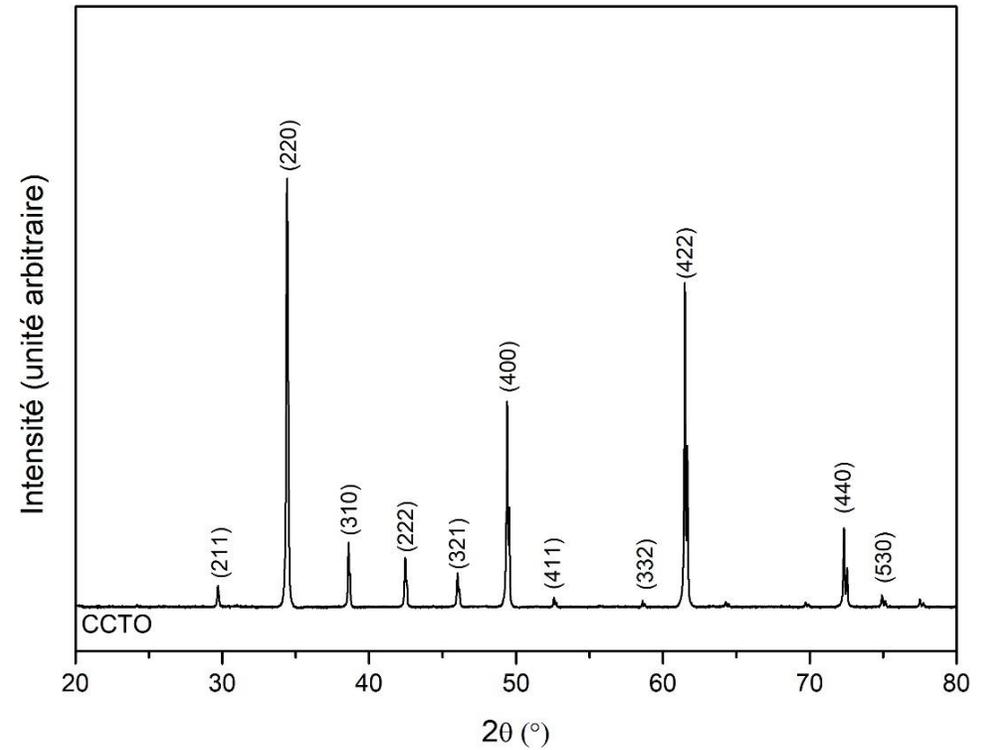
Pastille densifiée



Microscope



Caractérisations

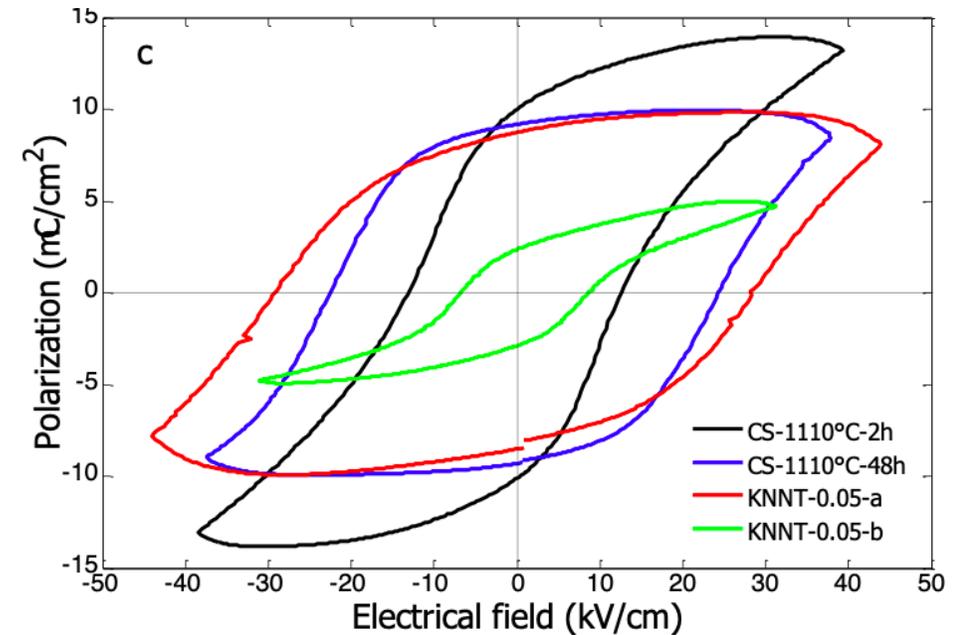
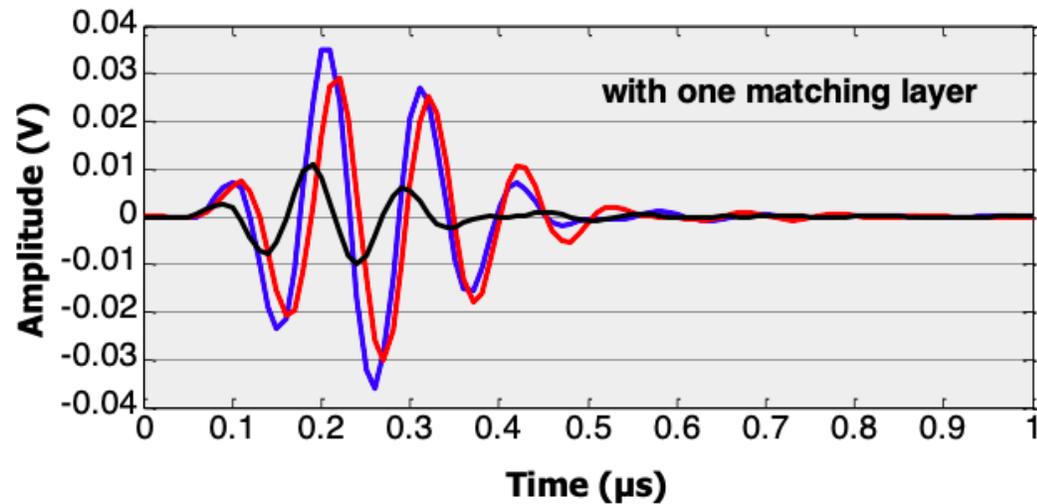


**Identification de la
structure du composé
synthétisé**

Diffractomètre des rayons X

Caractérisations

Echos ultrasonores



Cycles ferroélectriques

Conception de dispositifs pour applications

Applications : que faire quand la recette est bonne ?

Caractérisations : utilisations des matériaux synthétisés

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



Stockage d'énergie

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



Stockage d'énergie

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



Energie verte

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.