

Stage émail avril 2021

Alain Fichot Document de stage

06/04/2021

Partie 1

- 2 Bref historique, quelques glaçures contemporaines**
- 12 Verre et émail structure vitreuse et cristalline**
- 15 Du cru au cuit**
- 21 Mécanisme de fusion d'un mélange de minéraux**
- 26 Formule molaire : la carte d'identité d'un émail**
- 31 Calcul**
- 38 Diagrammes de Frère Daniel de Montmollin**
- 42 Coloration d'un émail**
- 45 Emailage**
- 47 Cuissons et fours**
- 56 Santé environnement**
- 57 Annexes**
- 59 Mes livres de références**

Partie 2

**Méthode de recherche par dosage en volume
Utilisation d'Ernest**

- 66 Dosage en volume**
- 69 Progressions possibles**
- 74 Dilution**
- 77 Nuancier**
- 78 Superpositions**
- 80 Ernest Glazy comparaison**
- 85 Les tuiles**
- 87 Conclusion**

L'**émail** est une matière fondante, composée de différents minéraux laquelle, vitrifiée et plus ou moins opaque , peut recevoir différentes couleurs et être appliquée à l'aide du feu sur certains ouvrages d'or, d'argent, de cuivre, pour les orner¹.

Le mot émail était réservé au verre qui recouvre un objet métallique et on devrait parler de glaçure l'enduit vitreux d'une céramique ou alors de couverte lorsque celui-ci est transparent. Dans la pratique on emploiera ici indifféremment les mots émail et glaçure

Un peu d'histoire

La première céramique connue est une Vénus et date de – 25000 ans et c'est le début de la chimie en céramique....



C'est probablement à l'Égypte ancienne que l'on doit les premières glaçures céramiques. Ces glaçures à base de sel s'obtenaient alors en mélangeant du sel ou de l'eau salée à l'argile des poteries. En séchant, les sels remontaient naturellement à la surface de l'objet et se vitrifiaient à la cuisson.



Les températures de cuisson étaient cependant trop basses pour produire un émail durable. Il faudra attendre les grès d'Europe du Nord, vers le XIVe siècle, pour que la glaçure au sel, vitrifiée à haute température, devienne une technique de production maîtrisée.



Parmi les premiers émaux qui aient existé, les émaux de cendres se forment naturellement lors de la combustion de bois dans les fours traditionnels.



On classe les glaçures en grande famille

Glaçure alcaline (sodium, potassium ou lithium





- glaçures au plomb - à l'oxyde de plomb. L'alquifoux, glaçure au sulfure de plomb utilisé dans le sud de la France jusqu'à son interdiction partielle dans les années 1950, donnait des coloris vernissés verts ou jaunes typiques des productions provençales. Les glaçures au plomb ne sont presque plus employées du fait de leur toxicité ;



- Glaçures « Bristol » - à l'oxyde de zinc. Moins toxiques que les précédentes, elles les ont progressivement remplacées.

Avec l'arrivée des fours qui montent à une température plus grande on arrive à tout l'éventail des glaçures de porcelaine et de grés



Quelques glaçures hautes températures

Le céladon



Fouilloud

Le céladon désigne à la fois un coloris et un type de céramique propre à la Chine (en chinois : qingci 青瓷, littéralement « porcelaine verte ») et à l'Extrême-Orient. Cet émail possède une teinte bleutée à vert olive et est caractéristique d'une production de céramique chinoise antique particulièrement recherchée.

Le tenmoku, rouge de fer et goutte d'huile





Bols de Matthieu Robert

Le shino

Il existe beaucoup de shino différents. Ils ressemblent en général à un verre épais, opaque, mat, de blanc à orange ou brun.



Émaux à la cendre



Colette Houtmann



Dans le four anagama de Michel Cohen

Rouge de cuivre



Xavier Duroselle

Émaux cristallins



José Mariscal



Hideaki Miyamura



Alain Fichot

Emaux inclassables



Jean Girel



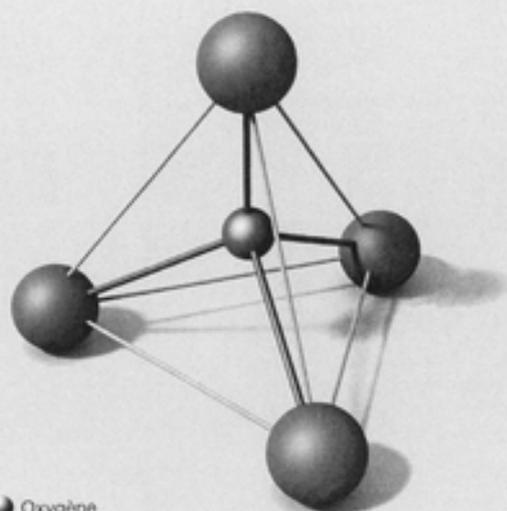
Eddie Curtis

Verre et émail

Pour un verre on cherche à obtenir une fusion de matière très liquide à base essentiellement de silice de façon à fabriquer des bouteilles , vitres etc... L'émail céramique lui aussi est à base essentiellement de silice mais il doit recouvrir un support. Il doit donc s'accorder avec son support à différents points de vue : dilatation, température de cuisson, rester à peu près en place au cours de la cuisson etc

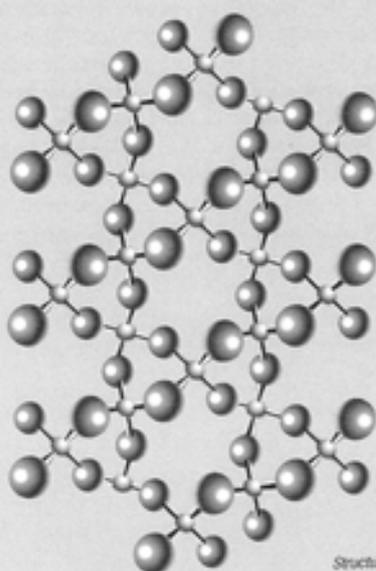
Dans la nature une même matière peut se présenter suivant plusieurs états, solide, liquide, gazeux (glace, eau, vapeur) . Un solide peut se présenter avec deux structures possibles ordonnée ou désordonnée. Quand un liquide se solidifie, il prend souvent une structure cristalline sinon il reste avec une structure désordonnée. Dans un émail il y a souvent une cohabitation de la structure cristalline et de la structure désordonnée.

La silice est un élément très important dans la croûte terrestre, dans les roches sédimentaires dans les roches volcaniques etc. .. L'atome de silicium Si se lie avec deux atomes d'oxygène pour donner de la silice (il lui faut deux atomes d'oxygène pour une histoire d'électrons sur la dernière couche (Si +++++ et O - -))
La silice se présente dans la nature sous forme de tétraèdre, un Si groupé avec 4 Oxygène et les tétraèdres se lient entre eux par leur sommet pour avoir des atomes d'oxygène en partage et qu'en moyenne finalement on se retrouve avec du Si O2 Une représentation de ce tétraèdre SiO4 est donnée page suivante. Quand les tétraèdres sont bien rangés on a une structure ordonnée donc cristallisée comme dans le quartz Quand ce n'est pas rangé on a une structure désordonnée ou amorphe.(c'est comme un liquide qui se serait figé) On parle alors de structure vitreuse



● Oxygène
● Silicium

Tétraèdre $(SiO_4)^{4-}$

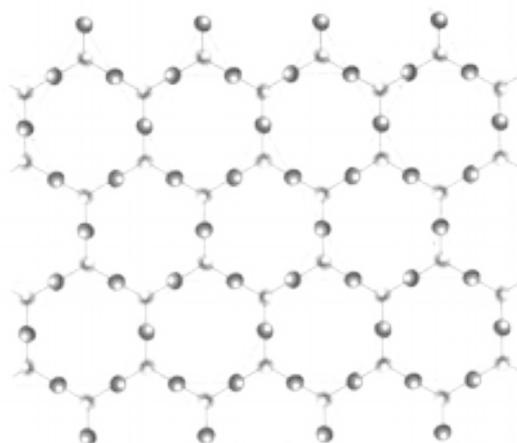


Structure du quartz.

2 Les silicates

Les argiles, les feldspaths, les micas et le quartz contiennent tous des atomes de silicium liés à des atomes d'oxygène arrangés en tétraèdres de $(SiO_4)^{4-}$. Chaque atome de silicium est au centre du tétraèdre dont chacun des 4 sommets est occupé par un atome d'oxygène. Les minéraux constitués de ces tétraèdres de silice forment la famille des silicates. L'agencement de ces tétraèdres diffère d'un minéral à l'autre :

- **Le quartz** (SiO_2) est formé uniquement de tétraèdres SiO_4 qui mettent en commun leurs oxygènes et s'enroulent en hélices compactes hexagonales (Quartz β) ou légèrement distordues (Quartz α).
- **Les feldspaths** sont aussi des silicates dont la charpente est tridimensionnelle, les tectosilicates, un peu comme le quartz mais dans un tétraèdre sur quatre, un atome d'aluminium prend la place du silicium. Ce changement de Si^{4+} par Al^{3+} est neutralisé par la fixation d'un cation (K^+ , Na^+ ou Ca^{2+}) dans la structure (exemple du feldspath orthose : $K [Si_3AlO_8]$).
- **Les micas et les argiles** sont des phyllosilicates dont les chaînes de tétraèdres sont associées en réseaux plans formant des feuillets. La structure des argiles est détaillée en page 14.



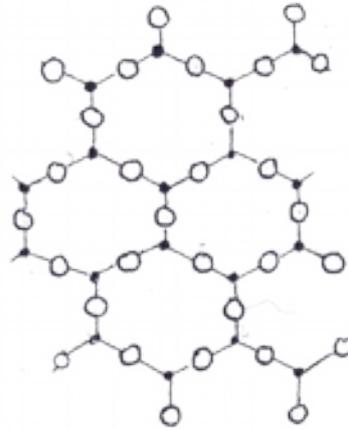
Tétraèdre SiO_4



○ O situé au premier plan ●
○ O situé en arrière-plan ●
Si ●

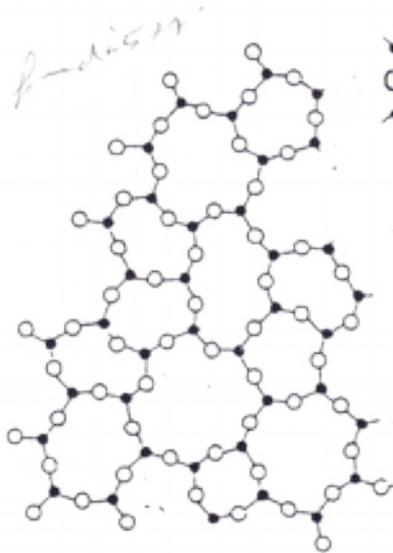
Micas et argiles
structure d'un feuillet.

Réseau SiO₂
Cristallisé (Quartz)



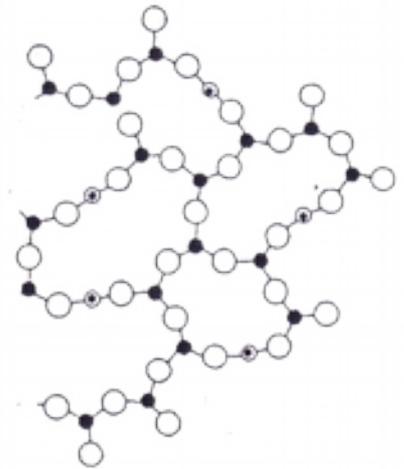
ordonné
For d'at 100°

Réseau B₂O₃



• B ○ ○

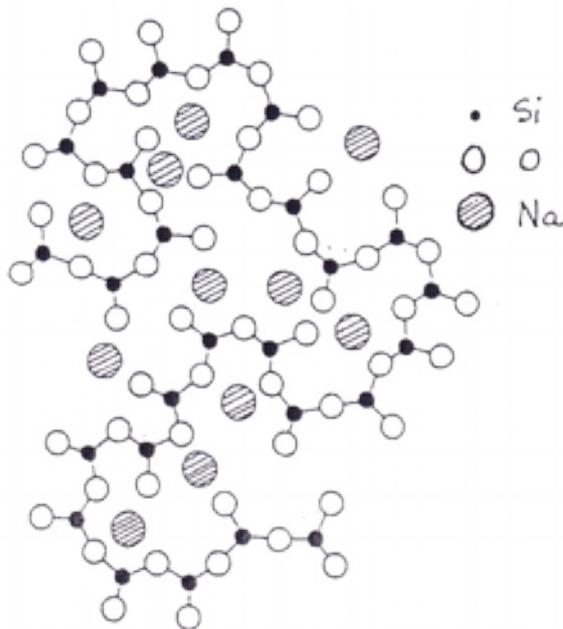
Verre SiO₂ . B₂O₃



● Si ⊙ B ○ ○

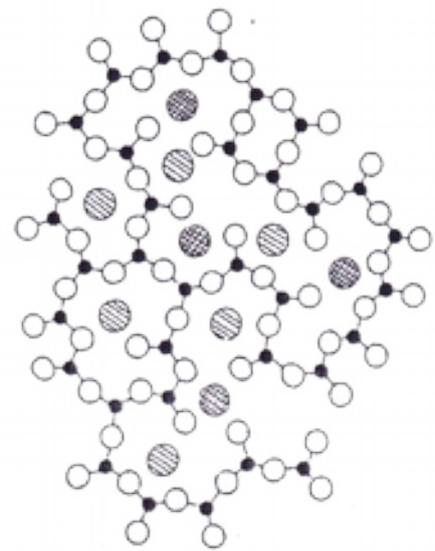
Verre Na₂O . SiO₂

"alcalin"



• Si
○ O
⊘ Na

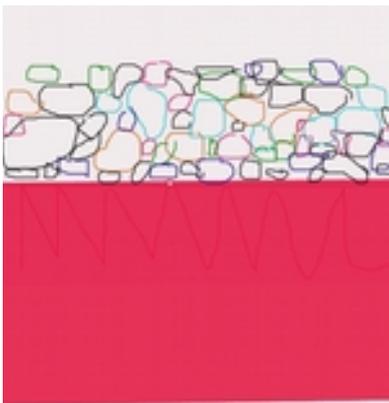
Verre CaO . Na₂O . SiO₂



● Si ○ ○ ⊘ Na ⊘ Ca

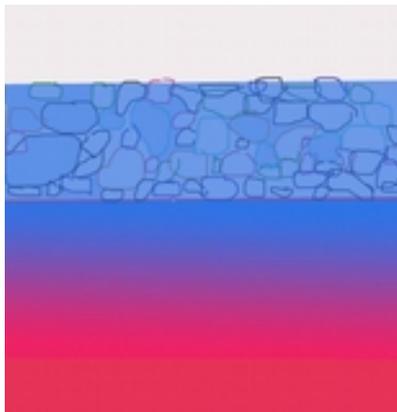
Les glaçures en général comme le verre présentent une structure désordonnée. L'augmentation rapide de la viscosité au cours du refroidissement fait que le passage de l'état liquide à l'état solide se fait sans mise en ordre des atomes. Dans un émail cristallisé comme les blancs magnésiens, les rouges de fer etc ... au contraire, se produit au cours du refroidissement un rangement des molécules. Le mécanisme comporte un stade préliminaire de création de germes cristallins ou nucléation suivi d'une croissance cristalline.

De l'émail cru à l'émail fondu

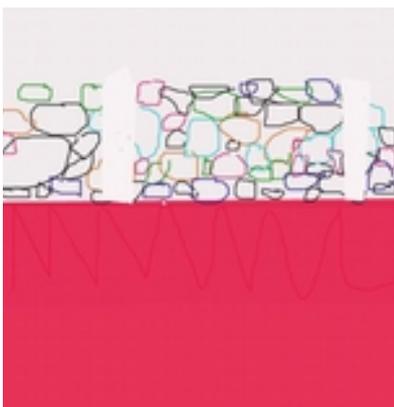


Pour faire un émail on va faire un mélange de matières divers, minéraux broyés, oxydes divers, carbonates etc que l'on va poser sur la céramique et qui vont fondre quand on les passera au four.

Un émail est au départ un ensemble de petits grains de matières différentes qui forment une couche d'une certaine épaisseur sur un tesson. On a alors une suspension. Ces grains plus ou moins gros sont en contact entre eux. La taille de ses "grains" est variable autour de la dizaine de microns. Suivant le type d'émaillage les particules plus fines se mettront en surface à cause du Théorème de Gibbs



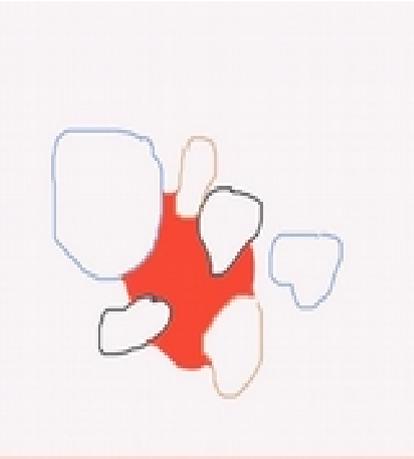
En général ses grains sont posés en faisant une barbotine eau + émail et les pièces sont trempées dans ce mélange. On voit donc que si un matériau est soluble dans l'eau une partie se retrouvera plus ou moins dans le tesson. Ce qui peut présenter des problèmes : déformation des porcelaines non contrôlée de ce qui reste dans l'émail etc. Néanmoins certains céramistes utilisent cette propriété que pour ma part je considère trop incontrôlable



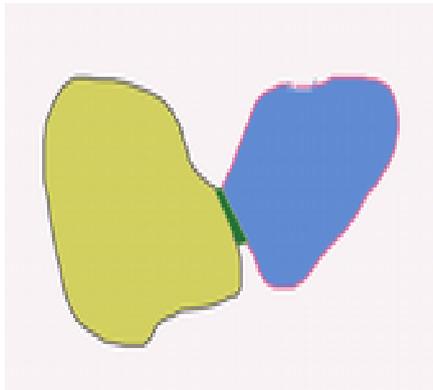
L'émail posé sur le tesson peut fendre en séchant. Ceci est utilisé dans certains émaux à retraits. (Émaux contenant beaucoup de carbonate de magnésie ou de kaolin) Un émail fortement broyé pourra avoir ce comportement et entraîner son décollement du tesson.



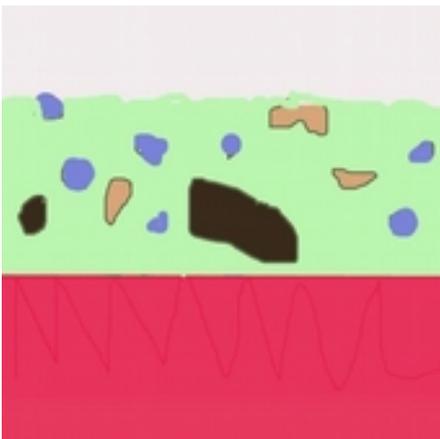
Au fur et à mesure de la montée en température il y a transformation de nos grains..... Perte de l'eau de constitution du kaolin , décarbonatation diverses, CaCO_3 donnant du CaO en perdant du CO_2 idem pour le carbonate de cuivre, cobalt, baryum etc



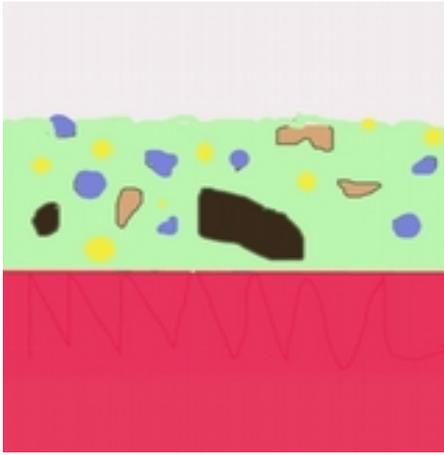
Ensuite s'il y a des grains de fritte ils se ramolliront à partir de 700° et fondront . Si c'est une fritte au bore elle aura encore plus tendance à mouiller les grains avoisinant encore non fondus



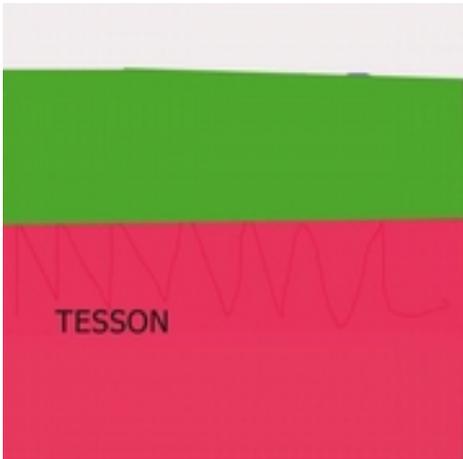
Les grains étant en contact entre eux commenceront à fondre au niveau de se contact Par exemple chaux et kaolin en contact commencera à fondre à 1170° Cette zone de fusion s'étendant progressivement



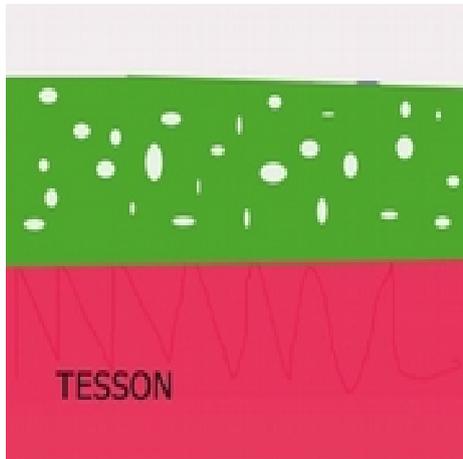
Il peut aussi y avoir dans la couche d'émail des grains dont les dimensions posent problèmes car ils seront difficilement "avalés" par la phase liquide les entourant.



Il arrive très souvent que les matériaux de l'émail ou du tesson perdent de l'oxygène (fer) ou un autre gaz au cours de la cuisson (dégazage du feldspath)
Si ce dégazage se fait à une température où l'émail est déjà liquide, les bulles auront tendance à se regrouper et venir éclater en surface. Dans ce cas, suivant la tension superficielle de l'émail, ou elles laisseront des trous ou l'émail renappera. Les bulles dans un émail si elles restent petites peuvent donner une certaine opacité (céladon). Le Fe_2O_3 perd son oxygène à 1230 ce qui provoque un fort bouillonnement de la glaçure



En fin de montée on peut avoir un émail totalement fondu



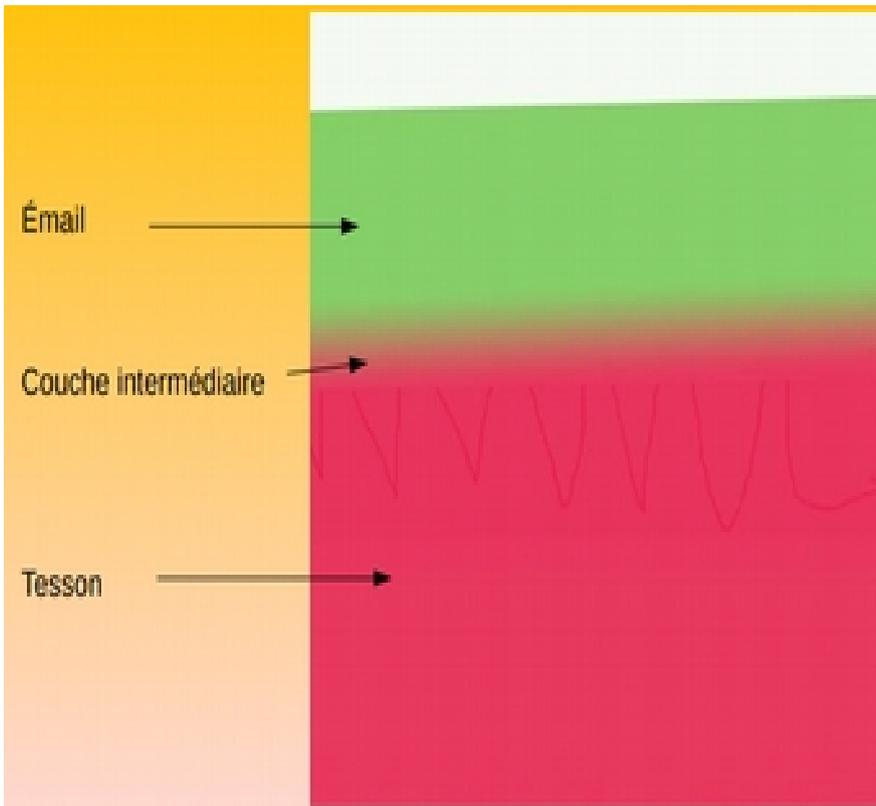
ou un émail avec des minis bulles



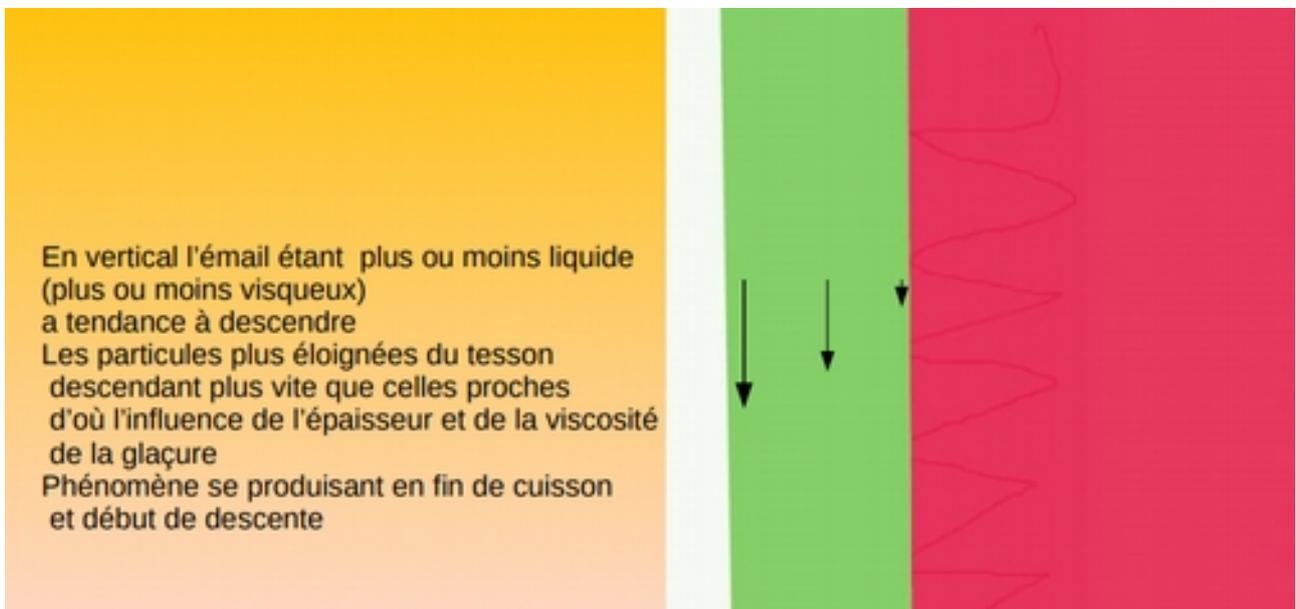
ou un émail avec des particules non fondues



Il peut aussi se former deux liquides qui se séparent comme une vinaigrette. Par exemple un émail contenant du bore peut donner deux liquides l'un riche en bore et l'autre riche en silice. C'est ce qui donne l'aspect laiteux de ce genre d'émail. Les spécialistes appellent ce phénomène **démixtion en phase liquide**.

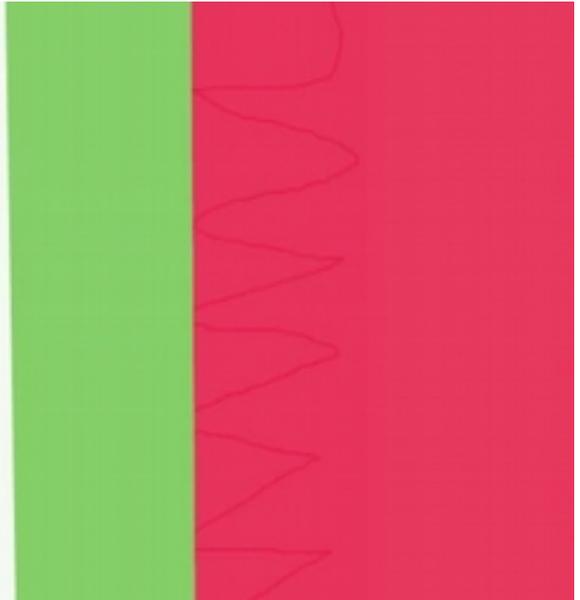


Il se forme une couche intermédiaire entre l'émail et le tesson. Cette couche est plus ou moins importante suivant la fusibilité de l'émail. Elle est très importante pour les émaux cristallisants. C'est pour cela qu'un émail prévu pour tel type de tesson ne donnera pas le même résultat avec un autre support

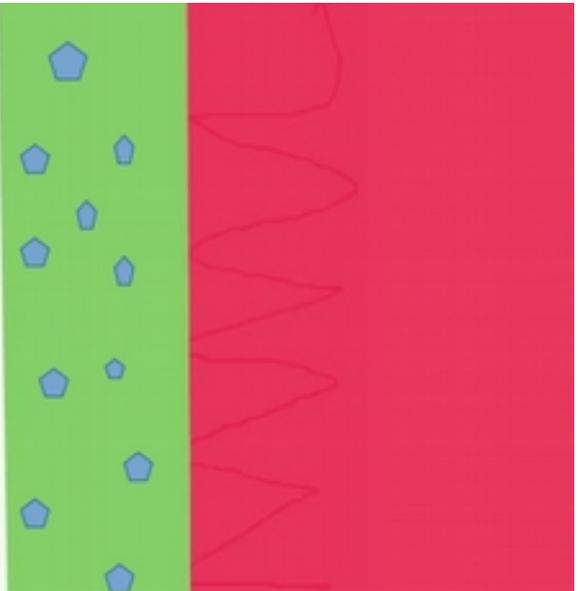


En vertical l'émail étant plus ou moins liquide (plus ou moins visqueux) a tendance à descendre
 Les particules plus éloignées du tesson descendant plus vite que celles proches d'où l'influence de l'épaisseur et de la viscosité de la glaçure
 Phénomène se produisant en fin de cuisson et début de descente

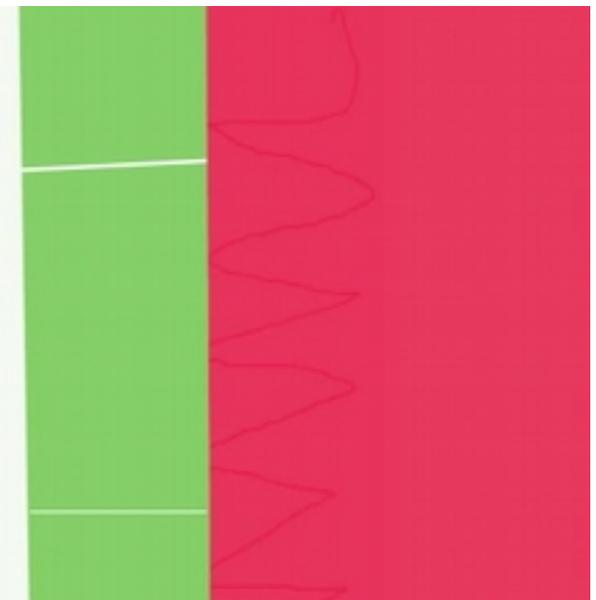
A la descente plusieurs cas se présentent
l'émail repasse en dessous de sa température
de fusion théorique et reste encore liquide
il est en surfusion et sa viscosité augmentant
Il se fige sans le développement de cristaux
Couverte transparente



Dans le liquide on peut avoir une nucléation
c'est à dire création de nucléi
sur lequel se développent des cristaux
blanc magnésien , rouge de fer,
macro cristaux etc



A la fin de la descente apparaît des
phénomènes liés à la dilatation
Ou l'émail se rétracte plus que le tesson
Dans ce cas on a un tressailage

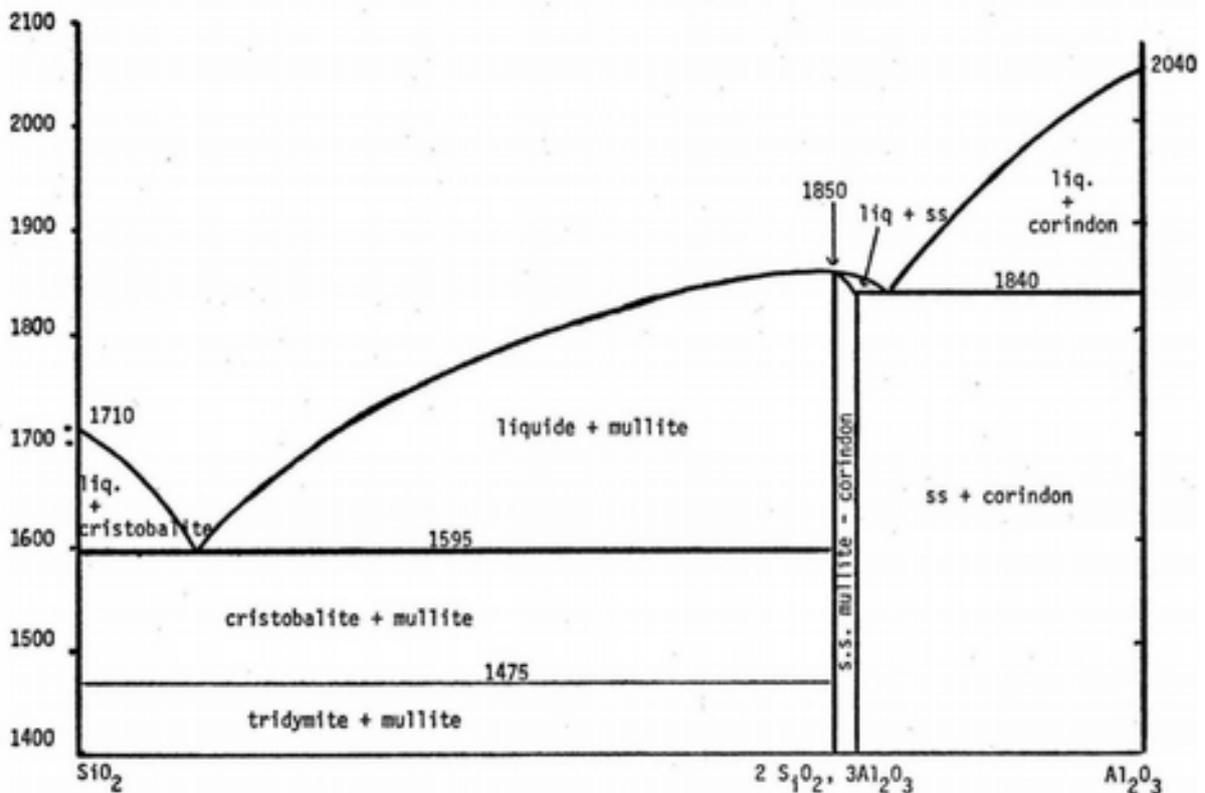




Dans le cas de superpositions de deux émaux de compositions différentes les phénomènes se complexifient . Mais on peut facilement imaginer ce qui se passe quand la couche du dessous se met à bouillir et traverse plus ou moins la couche du dessus ou quand deux émaux de tensions superficielles différentes sont superposés. On pourra aussi s'intéresser à l'interface des deux couches . Cette couche intermédiaire sera d'autant plus fusible que les deux couches auront des compositions fortement différentes . C'est pour cela que les superpositions ont une forte tendance à émailler les plaques d'enfournement....

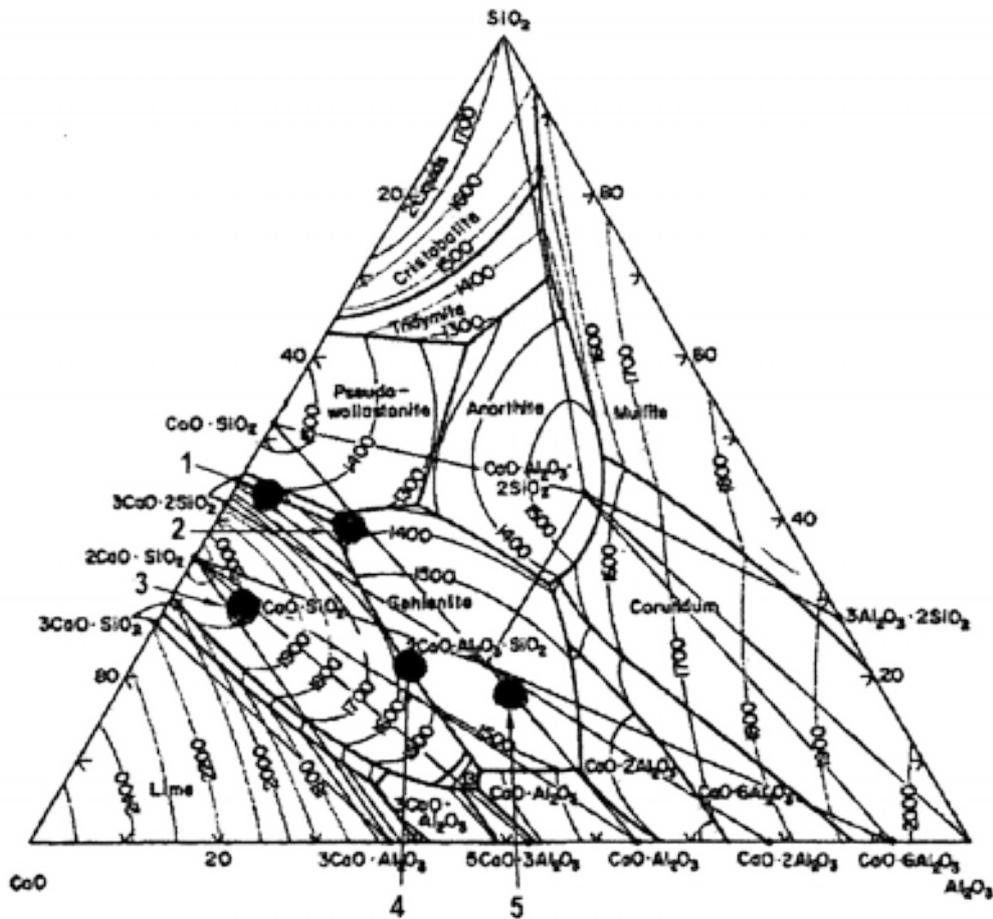
Mécanisme de fusion d'un mélange de minéraux

Tout d'abord examinons un diagramme binaire courant en céramique sur un exemple. On a un mélange de silice et d'alumine. Ce mélange évolue sur ce diagramme de gauche à droite de 100% de silice à 100% d'alumine. En vertical nous avons la température. Si on prend la silice pure on voit qu'elle fond complètement à 1710°C et de même de l'alumine fondra complètement à 2040°C. La courbe de température de fusion passe par deux minima qui sont les eutectiques. La température de fusion d'un mélange silice alumine à part égale en molécule fondra à environ 1800. Ce même mélange en fusion quand il refroidit commence à se solidifier à 1800 entre 1800 et 1595 cohabitent dans le mélange du solide (mullite $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) et du liquide. Puis en dessous de 1595 tout se solidifie en cristobalite (SiO_2) et mullite puis en tridymite (SiO_2) et mullite



La représentation pour un diagramme binaire est assez simple mais si on veut avoir une représentation pour un mélange de trois matériaux c'est évidemment beaucoup plus compliqué. J'ai réalisé une vidéo qui se trouve sur youtube à cette adresse <https://www.youtube.com/watch?v=EM-ZhcDnXzE>

Dans cette vidéo je montre un diagramme ternaire en 3D et comment ça marche. Une autre vidéo beaucoup plus esthétique <https://youtu.be/doGhBC9sQIM>



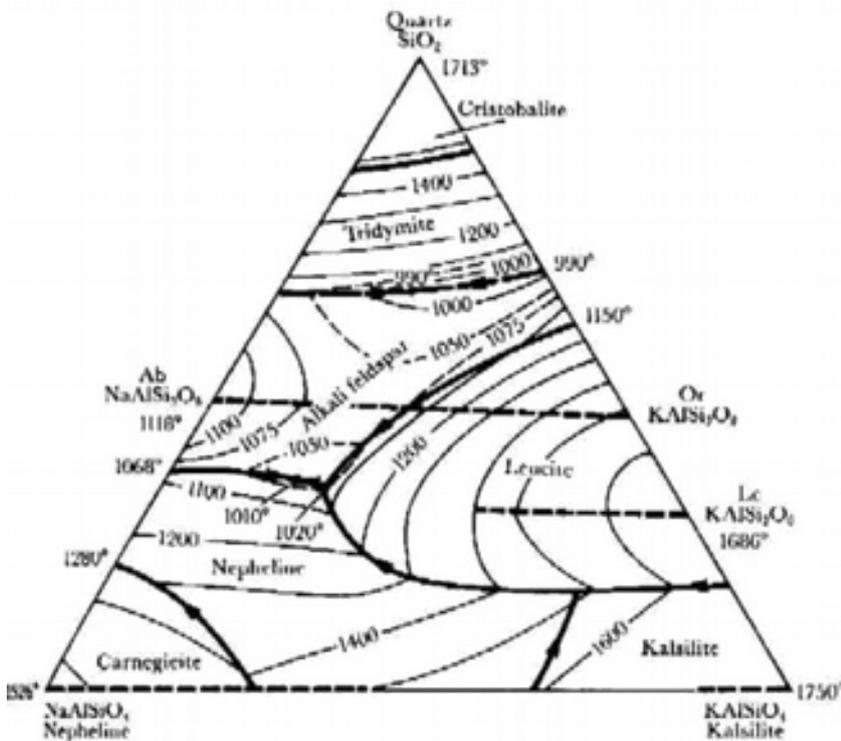
La représentation pour un diagramme binaire est assez simple mais si on veut avoir une représentation pour un mélange de trois matériaux c'est évidemment beaucoup plus compliqué. J'ai réalisé une vidéo qui se trouve sur youtube à cette adresse <https://www.youtube.com/watch?v=EM-ZhcDnXzE>

Dans cette vidéo je montre un diagramme ternaire en 3D et comment ça marche
 Une autre vidéo beaucoup plus esthétique <https://youtu.be/doGhBC9sQIM>

Voilà un diagramme ternaire (ici silice chaux alumine) tel qu'il est représenté dans la littérature scientifique C'est un peu brouillon et à priori pas très lisible car il s'agit de présenter à la fois la température de solidification, les matériaux formés les différents eutectiques.... En plus dans certains cas on peut aussi avoir au moment de la fusion la formation de deux liquides genre vinaigrette on a alors une démixtion en phase liquide C'est souvent le cas avec la présence de bore ce qui peut donner l'opalescence de l'émail ensuite au refroidissement

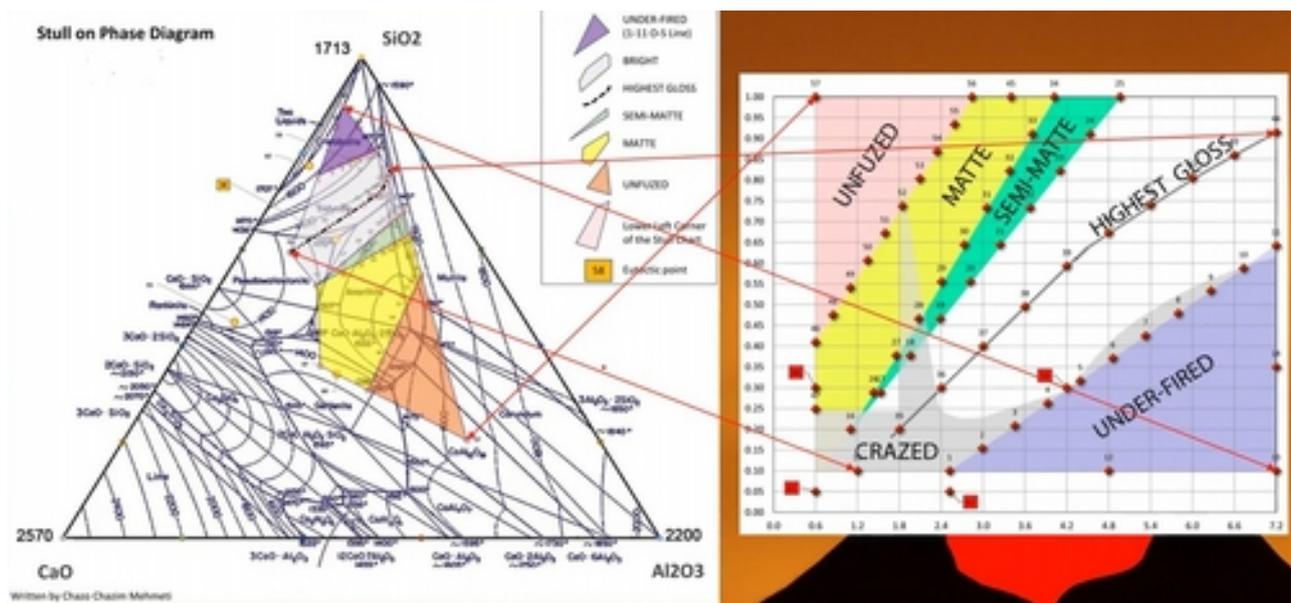
En résumé ce qu'il faut retenir c'est que lorsque l'on chauffe un mélange de produits pour faire un émail, on a un commencement de fusion à la température de l'eutectique de ce mélange, puis une fusion complète arrivé à une certaine température (le point de fusion théorique de notre émail) Quand on refroidit le phénomène inverse se produit : l'émail est liquide, arrivé à la température de fusion théorique on commence à avoir un solide qui se forme dans le liquide, puis à la température de l'eutectique tout devient solide. Enfin ça c'est la théorie car en pratique il y a des phénomènes de surfusion qui viennent complique tout cela. La surfusion étant l'état d'une substance qui reste liquide au delà de son point de solidification théorique

Voici un autre diagramme Silice, néphéline, kalsilite (sorte de feldspath potassique avec peu de silice et peu d'alumine)



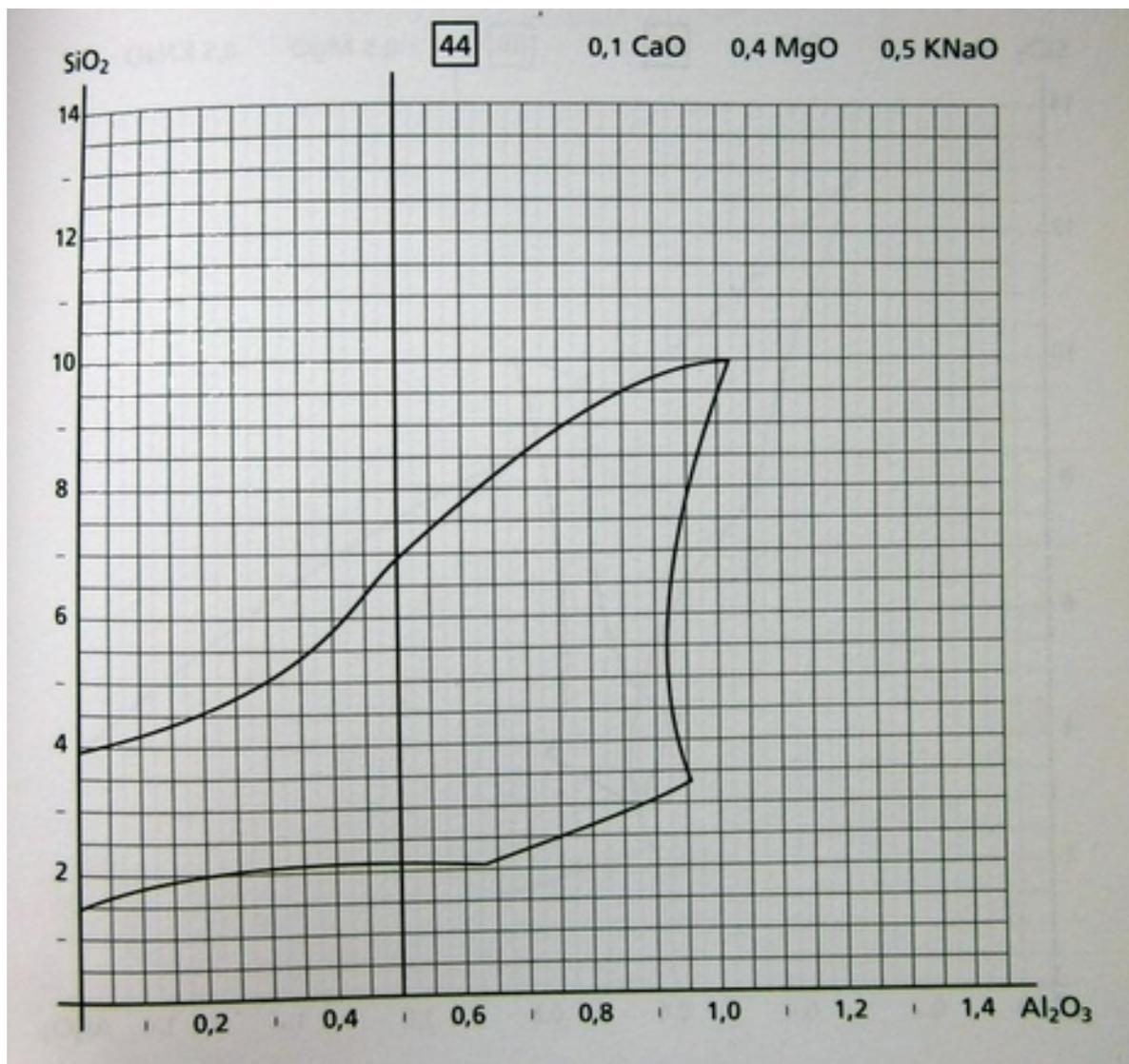
Les lignes courbes qui partagent ce triangle indiquent les isothermes de fusion. Si on prend l'isotherme 1200° on voit qu'il partage le triangle en trois zones : la zone en bas où notre mélange ne fond pas à 1200°, la zone au dessus correspondant au quartz qui ne fond évidemment pas non plus et une zone intermédiaire qui montre deux eutectiques : un à 1010° au centre du triangle et l'autre un peu plus haut dans le triangle à 990° °

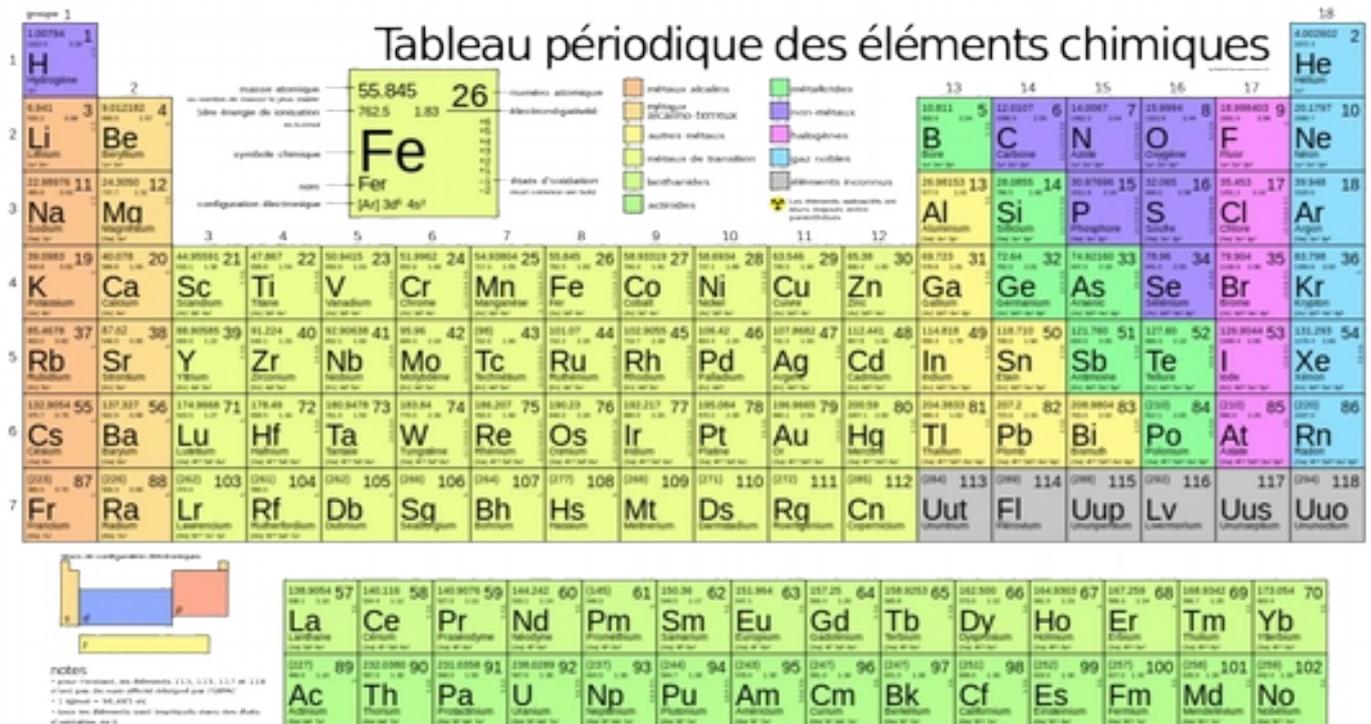
De telles représentations ne sont pas très lisibles. Pour les rendre plus pratique certains auteurs les ont transformées tel Monsieur Stull au début du 20ième à proposer cette représentation



On passe donc du représentation triangulaire à une représentation plus classiquement rectangulaire . L'origine correspond à de la chaux pure et on ajoute de la silice en horizontal et de l'alumine en vertical on perd beaucoup d'information sur les températures de fusion , par contre les zones intéressantes sont assez bien définies et les diagrammes de Stull existent pour de nombreuses bases

(CaO, K₂O ZnO SrO MgO... ainsi que les mélanges 2 à 2 des précédents.) Pour l'échelle on va devoir passer à la fameuse formule molaire Les diagrammes présentés par Frère Daniel de Montmollin sont des transformations des diagrammes du type scientifique où ne subsiste que l'isotherme 1280° et où la présentation se fait avec une variation de la silice et de l'alumine Les axes sont inversés par rapport à Stull Dans son livre FDM s'est limité au mélange chaux, magnésie, sodium et potassium ces deux derniers sont considéré comme ayant le même rôle. Cela donne une soixantaine de diagrammes intéressants car les diagrammes où la magnésie est trop importante ne sont pas mentionnés (les mélanges contenant trop de magnésie ne fondent pas à 1280°C) un exemple





H Seger (céramiste allemand 1839-1893) a codifié une méthode de représentation d'un émail (ou d'une pâte) et a inventé la formule éponyme : "formule Seger unitaire". Il a classé les différents oxydes en 3 catégories :

- Les transformateurs de réseau R2O et RO (K2O, Na2O, CaO etc) (certains appellent cette catégorie "fondants" ce qui est un peu bizarre sachant que par exemple la chaux CaO fond à 2570° soit plus haut que la silice ou l'alumine respectivement 1710 et 2070)
- Les stabilisateurs R2O3 (Al2O3, B2O3)
- Les formateurs RO2 (SiO2, TiO2)

FDM emploie les termes bases à la place de transformateurs, amphotères pour stabilisateurs, et acide pour formateur.

Un émail pourra donc être présenté selon Seger comme ceci

Transformateurs Stabilisateurs Formateurs

SrO	0.00	Al2O3	0.15	SiO2	1.71
CaO	0.25	B2O3	0.00	TiO2	0.15
ZnO	0.55				
Li2O	0.08				
BaO	0.00				
Na2O	0.04				
K2O	0.08				

Total première colonne =1 par convention (formule Seger unitaire)

Les transformateurs

Type	Désignation	Nom courant	Masse molaire (en g)
CaO	Oxyde Calcium	Calcium	56.0794
ZnO	Oxyde de Zinc	Zinc	81.3794
MgO	Oxyde de Magnésium	Magnésium	40.3044
BaO	Oxyde de Baryum	Baryum	153.3394
PbO	Oxyde de Plomb	Plomb	223.1994
SrO	Oxyde de Strontium	Strontium	103.6194
Na ₂ O	Oxyde de Sodium	Soude	61.9790
K ₂ O	Oxyde de Potassium	Potasse	94.1954
Li ₂ O	Oxyde de Lithium	Lithium	29.8814

Les stabilisateurs R2O3

Type	Désignation	Nom courant	Masse molaire (en g)
Al ₂ O ₃	Oxyde d'Aluminium	Alumine	101.9612
hB ₂ O ₃	Oxyde de Bore	Bore	69.6182
Fe ₂ O ₃	Oxyde de Fer	Fer	103.8452

Les formateurs RO2

Type	Désignation	Nom courant	Masse molaire (en g)
SiO ₂	Oxyde de Silicium	Silice	60.0848
ZrO ₂	Oxyde de Zirconium	Zircon	123.2188
TiO ₂	Oxyde de Titane	Titane	79.8788
P ₂ O ₅	Oxyde de Phosphore	Phosphore	141.9446

Les distributeurs de matériaux utilisés en céramique donnent en général la composition de ceux-ci en pourcentage. Quelque fois ils donnent aussi leur formule molaire, il existe aussi une présentation sous forme de pourcentage molaire. On peut aller sur cette page de Denis Caraty

http://smart2000.pagesperso-orange.fr/masse_molaire.htm ou sur <http://digitalfire.com/4sight/material/index.html>

Voici une fiche produit que peut fournir un distributeur si on lui demande poliment en insistant fortement. Vous voyez au crayon noté ce qu'on obtient en insistant un peu

FICHE TECHNIQUE ESMALTE PR-17 TR. MATE S/Pb. ATOMIZ

Impression: 27/01/2010

1. IDENTIFICATION DU PRODUIT

Code du produit 22192107
 Nom du produit ESMALTE PR-17 TR. MATE S/Pb. ATOMIZ
 Description Composé de Fritte. N° CAS: 65997-18-4
 Émail transparent satiné sans plomb.

Application En couche fine, l'émail est transparent. Un excès de couche peut donner un aspect opalescent. On peut lui ajouter des colorants pour obtenir des émaux colorés satinés. La température de cuisson varie entre (980-1050° C).

Société ou fabricant

PRODESCO S.L.
 C/ Aviación 44
 46940 Manises
 Valencia - España

Tel: 961545588
 Fax: 961533025
 email: admon@prodesco.es
 Web: http://www.prodesco.es

2. COMPOSITION ET INFORMATION SUR LES COMPOSANTS**Analyse Chimique**

Li ₂ O	ZnO	28,41	Cr ₂ O ₃	CaF ₂
Na ₂ O 6,86 [5-10]	MnO		B ₂ O ₃ 4,23 [1-5]	Bi ₂ O ₃
K ₂ O 0,25 [0-0,5]	CdO		V ₂ O ₅	P ₂ O ₅
MgO 0,01	CoO		MnO ₂	BeO
CaO 6,4 [5-10]	NiO		SiO ₂ 6,16 [40-80]	CeO ₂
SrO 0,39 [0-0,5]	Al ₂ O ₃ 4,23 [1-5]		TiO ₂ 0,005	CuO
BaO 2,53 7	Fe ₂ O ₃ 0,01		ZrO ₂	Pr ₂ O ₃
PbO	Sb ₂ O ₃		SnO ₂	

3. PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES

Aspect physique Poudre atomisée blanche. Index Acide 1,13
 État Solide. Tension Superficielle 378,24dynt/cm
 Couleur en cuit Transparent mat.
 Odeur -

4. DONNÉES COLORIMÉTRIQUES

L n.a. *A* n.a. *B* n.a. * Par Minolta ChromaControl (S)
 D-65 A 10° G: O-O

5. DONNÉES DILATOMÉTRIQUES

(25-300)	$74,74 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	T* Transformation	529°C
(50-300)	$75,54 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	T* Ramollissement	784°C
(300-500)	$88,66 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	Point de Fusion	> 950°C
(500-600)	$252,38 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$		

* Données obtenues avec dilatomètre BÄHR mod. DIL 801 L

6. DISTRIBUTION GRANULOMÉTRIQUE

>10µ	60,69%	Réfraction	2000
>25µ	30,89%	Absorption	0,1
>40µ	7,66%		
>70µ	2,84%		
>120µ	0,6%		
d (0,5)	14,361µ		

* Données obtenues avec Malvern Instruments (Master Size 2000)

7. RECOMMANDATIONS SUR DES OBJETS EMAILLÉS DESTINÉS A L'USAGE CULINAIRE

Ne contiennent pas de plomb ni cadmium dans leur composition.

Conditions : -Cuisson à la température indiquée
 -Cycle de cuisson lente (>5 heures)
 -Palier de cuisson.

(Si vos conditions de travail sont différentes, nous demander des précisions)
 (Monocuisson ou cycles plus rapides, nous demander des précisions)

NOTES : n.a (non applicable); nd (pas d'information disponible); p.n (preuves négatifs)



EMISELE: 07/09/2009

Page 1 sur 1



RÉVISION: 27/01/2010 (Rev. 3)

Calcul

Le problème étant avec une telle présentation sous la forme « formule molaire » d'une glaçure comment fait-on pour avoir sa recette et réciproquement

Deux méthodes sont possibles

Première méthode on fait le calcul « à la main »

Sur l'exemple

SrO	0.00	Al ₂ O ₃	0.15	SiO ₂	1.71
CaO	0.25	B ₂ O ₃	0.00	TiO ₂	0.15
ZnO	0.55				
Li ₂ O	0.08				
BaO	0.00				
Na ₂ O	0.04				
K ₂ O	0.08				

on voit qu'il nous faut obtenir

0.25 CaO qui sera apportée par du carbonate de calcium CaCO₃ de masse molaire arrondie 100 on multiplie 0.25 par 100 ce qui donne **25g**

Ensuite on va mettre un feldspath potassique et cela se complique car le feldspath apportera à la fois du Na₂O, du K₂O, de l'alumine et de la silice. Le feldspath utilisé a une formule moléculaire

Na₂O 0.34, K₂O 0.66, Al₂O₃ 1.06, SiO₂ 6.86 on calcule la masse molaire (62x0.34)+(94x0.66)+(102x1.06)+(60x6.86) soit 602.84

Comme 0.04 et 0.08 font 0.12 (Na₂O+K₂O) on mettra 0.12x682.84 de feldspath soit **82g**

Mais en mettant 0.12 de feldspath on a amené 0.12x 1.06 d'alumine et 0.12x 6.86 de silice soit 0.127 d'alumine et 0.82 de silice il n'en reste donc plus à apporter que 0.15 – 0.127 (0.023) pour l'alumine et 1.71 – 0.82 (0.89) pour la silice

On continue ensuite pour le zinc, le lithium et le titane apportés respectivement par de l'oxyde de zinc, du carbonate de lithium et de l'oxyde de titane

Zinc 0.55 x 81.4= **44.8g**

Carbonate de lithium 0.08 x73.9= **5.9g**

Oxyde de titane 0.15x79.9=**12g**

Il reste à mettre du kaolin formule moléculaire Al₂O₃+2SiO₂+2 H₂O masse molaire 258 pour compléter au niveau de l'alumine

0.023x258=**5.9g** d'apport de kaolin

Comme il y a 2 molécules de silice pour une d'alumine dans le kaolin en apportant 0.023 d'alumine on apporte 0.023x2 de silice donc on avait à apporter 0,89 on retranche donc 0.046 ce qui donne (0.89-0.046) x 60 =**50.6g** de silice

Ce qui donne la recette suivante

Chaux 25, feldspath 82, zinc 44.8, lithium 5.9, titane 12, kaolin 5.9, silice 50.6

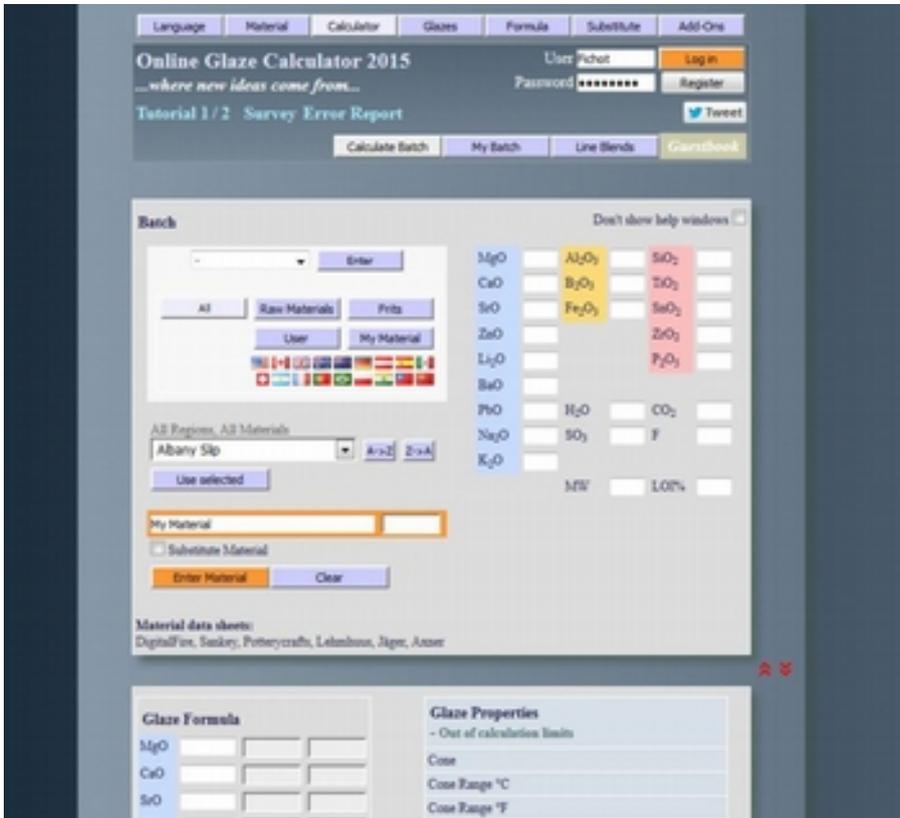
Comme on voit cette méthode est franchement fastidieuse pour ne pas dire rébarbative quand on le fait à la main.

De plus amples explications se trouvent sur la page d'Yvon le

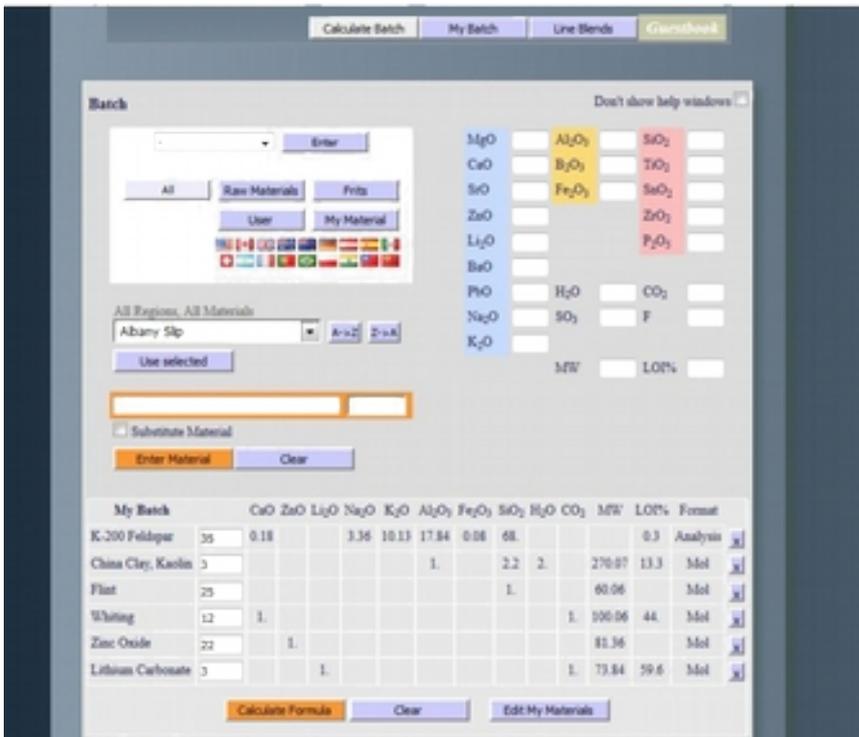
Douget <https://ledouget.fr/#methode>

ou sur celle de Denis Caraty <http://smart2000.pagesperso-orange.fr/conversion%20glacure.htm>

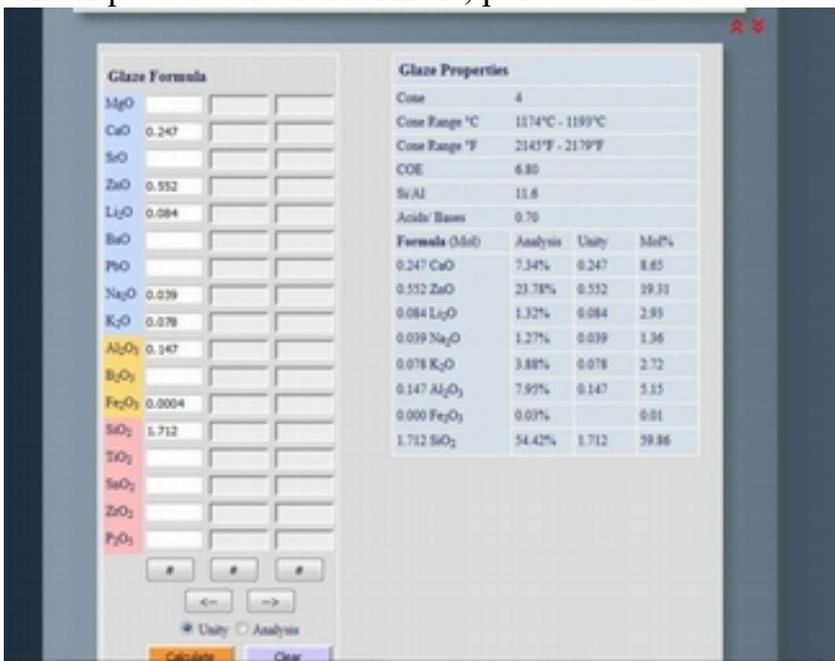
Deuxième méthode beaucoup plus rapide. On fait faire les calculs par un logiciel approprié que l'on télécharge (par exemple Potoulz) ou on fait les calculs avec [http:// www.online-glaze-calculator.com/Calculator/fr2.php](http://www.online-glaze-calculator.com/Calculator/fr2.php)
Voici des captures d'écran de ce calcul sur ce site



On entre les matériaux de la recette en les choisissant dans la liste déroulante en précisant la quantité de chaque



On clique sur calculer formule, puis sur unité et calcul on obtient ceci



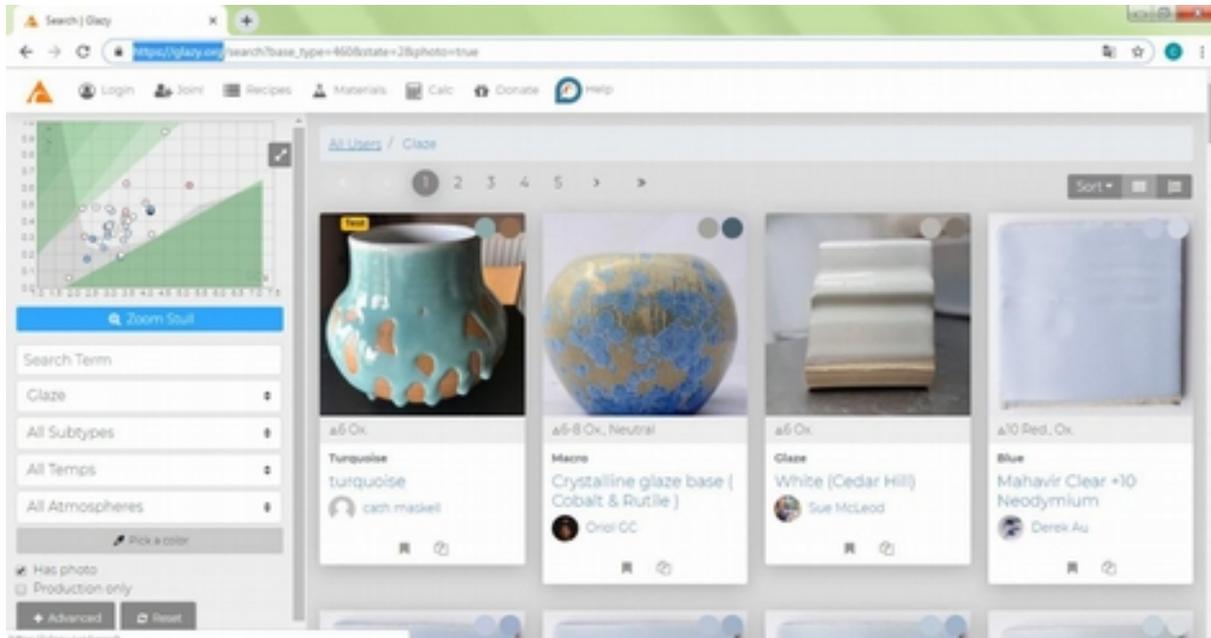
On voit alors la formule moléculaire unitaire, sa température de fusion théorique, son coefficient de dilatation théorique. Cette température de fusion théorique donnée par ce logiciel est très importante car elle nous donne une indication précieuse sur le comportement d'un émail. En effet si vous avez une température de fusion théorique trop élevée votre émail n'a guère de chance de napper à l'inverse si elle est trop basse votre émail aura des chances d'émailler les plaques d'enfournement

Un autre site proposant ce type de calcul est Glazy qui est plus complet et plus convivial que le précédent

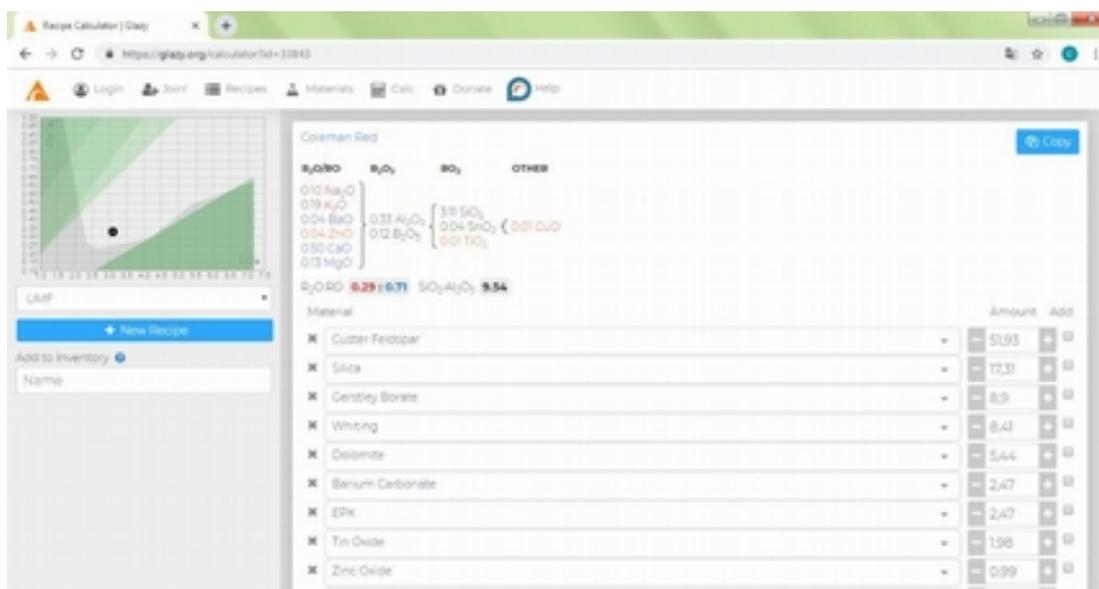
GLAZY

<https://glazy.org>

voici la page d'accueil



on se connecte et on clique sur nouvelle recette.... On entre les matériaux et cela calcule la formule molaire. Auparavant il faudra mettre les formules molaires de ses propres matériaux. (Monsieur Prieto y a introduit beaucoup de matériaux utilisés en France) Le bouton + ou- à côté permet d'ajuster la formule molaire selon son désir ce qui fait varier la position dans le diagramme de Stull en haut à gauche. La fonction copier permet de dupliquer une recette de base (ce qui sera très utile pour faire une recherche avec une progression biaxiale)



Recipe Calculator | Glazy

https://glazy.org/calculator?id=33843

[Login](#)
[Join](#)
[Recipes](#)
[Materials](#)
[Calc](#)
[Donate](#)
[Help](#)

UMF

[+ New Recipe](#)

Add to Inventory

Name

Coleman Red

[Copy](#)

R ₂ O/RO	R ₂ O ₃	RO ₂	OTHER
0.10 Na ₂ O	0.33 Al ₂ O ₃	3.11 SiO ₂	0.04 SnO ₂ (0.01 CuO
0.19 K ₂ O			
0.04 BaO	0.12 B ₂ O ₃	0.04 SnO ₂	0.01 TiO ₂
0.04 ZnO			
0.50 CaO			
0.13 MgO			

R₂O/RO **0.29** | **0.71** SiO₂/Al₂O₃ **9.34**

Material	Amount	Add
<input checked="" type="checkbox"/> Custer Feldspar	- 51.93	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Silica	- 17.31	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Gerstley Borate	- 8.9	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Whiting	- 8.41	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Dolomite	- 5.44	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Barium Carbonate	- 2.47	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> EPK	- 2.47	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Tin Oxide	- 1.98	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Zinc Oxide	- 0.99	<input type="checkbox"/>

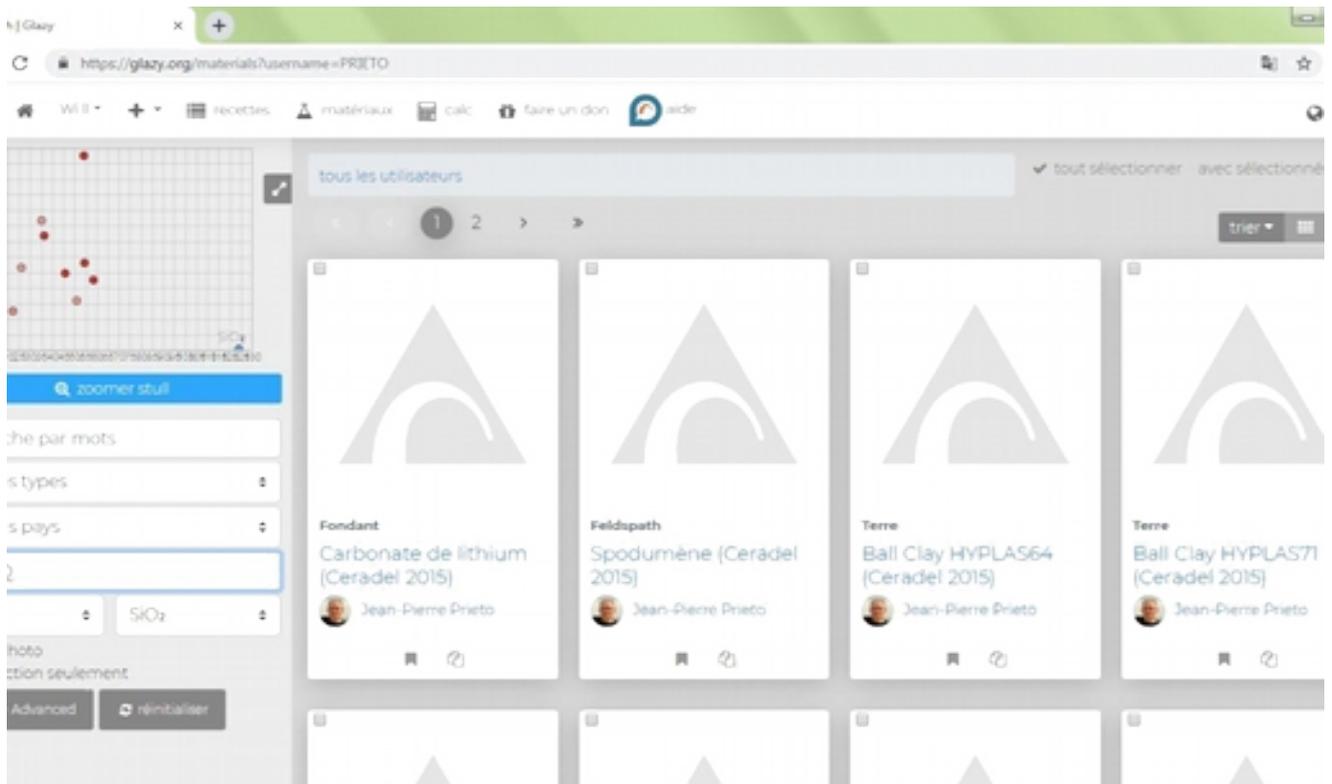
Coleman Red

[Copy](#)

R ₂ O/RO	R ₂ O ₃	RO ₂	OTHER
0.12 Na ₂ O	0.39 Al ₂ O ₃	3.45 SiO ₂	0.04 SnO ₂ (0.01 CuO
0.23 K ₂ O			
0.04 BaO	0.11 B ₂ O ₃	0.04 SnO ₂	
0.04 ZnO			
0.46 CaO			
0.12 MgO			

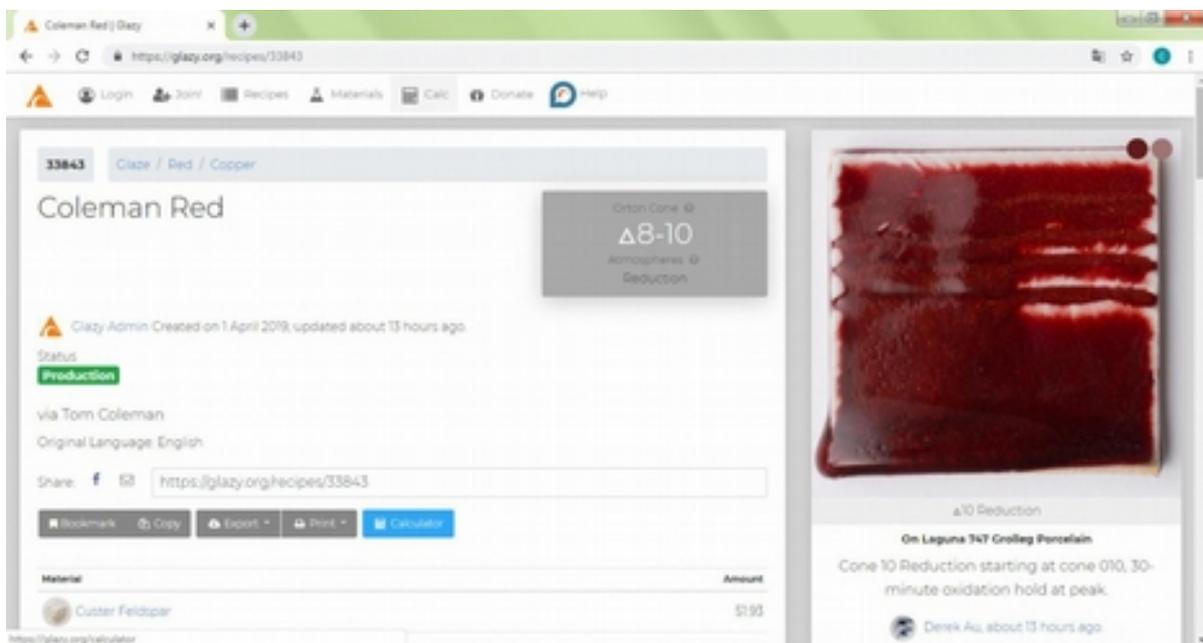
R₂O/RO **0.35** | **0.65** SiO₂/Al₂O₃ **8.93**

Material	Amount	Add
<input checked="" type="checkbox"/> Custer Feldspar	- 53.93	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Silica, Quartz, Flint	- 17.31	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Gerstley Borate	- 8.9	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Whiting, Calcium Carbonate	- 8.41	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Dolomite	- 5.44	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Barium Carbonate	- 2.47	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> EPK, EP Kaolin, Edger Plastic	- 2.47	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Tin Oxide, Stannic Oxide	- 1.98	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Zinc Oxide	- 0.99	<input type="checkbox"/>



Remarque

Le site Glazy est aussi un site où tout le monde peut mettre des recettes il peut arriver que celles -ci s'avèrent assez peu satisfaisantes..... donc la partie recette doit être utilisée avec précaution. Exemple de recette publiée :



La visualisation dans le graphique de Stull est un peu perturbante car les axes silice alumine sont inversés par rapport à FDM ...en outre les différentes zones mates brillantes etc sont à prendre avec beaucoup de circonspection

Les diagrammes de Frère Daniel de Montmolin

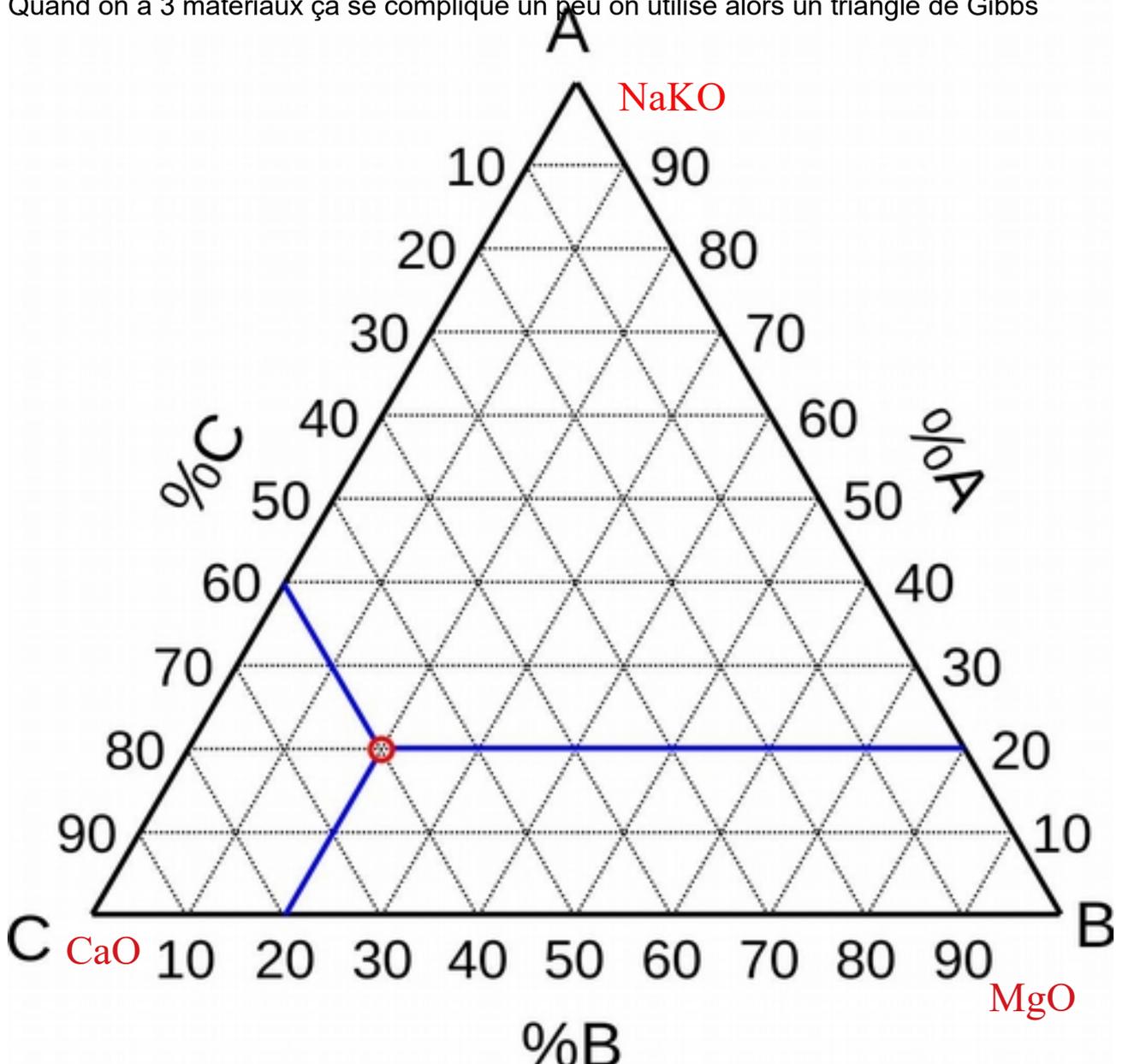
Dans un souci de simplification les diagrammes ont été limités à trois oxydes transformateurs
CaO, MgO et NaKO (Na₂O et K₂O ayant des rôles similaires en première approximation)
auquel on ajoute de l'alumine comme stabilisateur et de la silice comme formateur.

Tout d'abord DDM a classé ses diagrammes de 1 à 60 en utilisant un triangle de Gibbs explication....

Tout d'abord si on fait un mélange de deux matériaux A et B on peut mettre par exemple 20% de A et donc 80 % de B Si on veut aller de A à B par pas de 10 % on réalisera les mélanges suivants

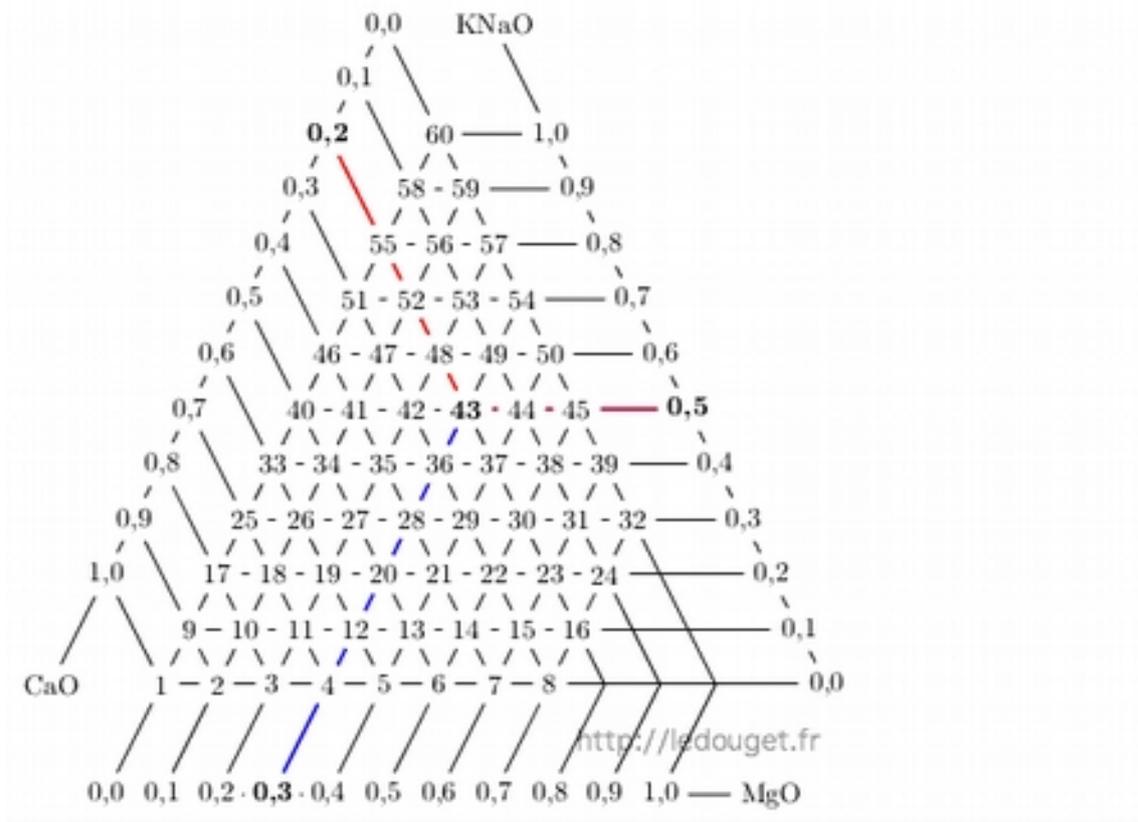
100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	A
0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	B

Quand on a 3 matériaux ça se complique un peu on utilise alors un triangle de Gibbs



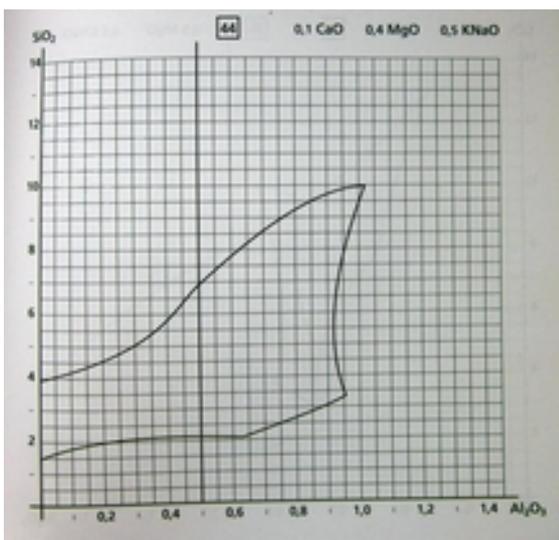
Les sommets sont formés d'une mole entière de l'oxyde retenu. La mole basique du diagramme n°1 est formée seulement de CaO. De même, KNaO compose seul la mole basique du diagramme n°60. Par contre, il n'y a pas de sommet MgO car un émail dont la mole basique serait formée du seul oxyde de magnésium ne fondrait pas à température du grès car trop réfractaire.

La base opposée à chacun des sommets ne contient pas l'oxyde qui compose la totalité de la mole basique de ce sommet. La rangée suivante en contient 0,1 puis celle du dessus 0,2 et ainsi de suite jusqu'au sommet par une progression de 0,1 mole en 0,1 mole.

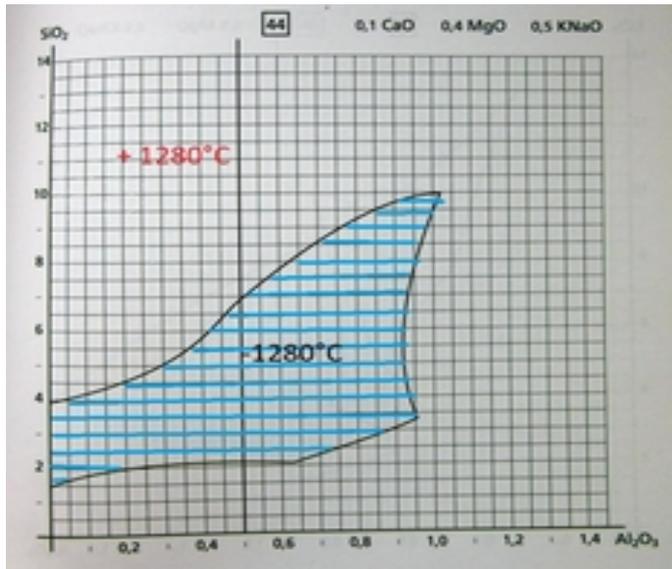


Il est à noter que la numérotation de DDM est tout à fait arbitraire

Dans le diagramme 43 par exemple on a 0,2 mole de CaO, 0,3 de MgO, 0,5 de NaKO. On a bien $0,2 + 0,3 + 0,5 = 1$ voici le diagramme 44



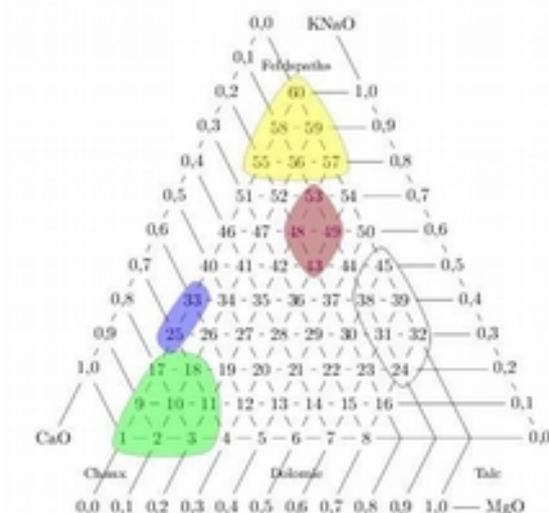
Avec un peu de couleur :



Dans ce graphique on a une ligne verticale à 0,5 Al₂O₃ ce qui délimite deux zones. La zone de gauche ne peut pas être « parcourue » avec un feldspath car un feldspath a au moins 1 mole de Al₂O₃ dans sa formule Seger. Mais on pourra dans cette zone travailler avec une fritte D'autre part on ne travaillera pas la plupart du temps dans la zone en dessous de 1,5 SiO₂ car à nos températures l'émail formé manquerait de stabilité.

L'intérêt du diagramme vient de la courbe qui délimite la zone de fusion théorique à 1280 °C c'est à dire que dans la zone bleue notre émail sera théoriquement fondu et en dehors non. FDM parle de lac et de profondeur du lac en ce sens que si l'on fait un émail qui est « au milieu du lac » on peut avoir un émail trop fusible donc qui aura tendance à couler. Au contraire si on fait un émail trop loin de la berge de ce fameux lac on risque d'avoir un émail non fondu.

Parmi tous des diagrammes DDM Buté définit ceux qui seront plus favorables à tel ou tel type d'émaux



jaune shino vert céladon etc

Je ne m'étendrai pas plus sur la méthode de recherche traditionnelle qui consiste à peser les recettes correspondantes à tous les points d'intersection silice alumine d'un diagramme donné ou d'une zone donnée car je trouve que c'est trop long et fastidieux par exemple si on veut faire tous les points d'intersection de la zone hachurée du diagramme 44 cela fait 300 essais. Je développe dans un autre chapitre ma méthode de dosage en volume en utilisant Ernest

Formules limites

Certains auteurs proposent ce qui est appelé communément appelé des formules limites . Ils écrivent que pour telle famille d'émail on doit avoir une composition située dans une certaine fourchette. Ceci doit être pris avec beaucoup de circonspection... Quand j'ai commencé à faire des émaux cristallisants au zinc beaucoup de publications mentionnaient que le zinc devait être compris en formule Seger entre 0,8 et 1 avec Al_2O_3 entre 0 et 0,1 et SiO_2 entre 1,5 et 2 et mes recettes comprenaient moins de 0,5 ZnO

Coloration d'un émail

Pour colorer un émail en général on a le choix entre plusieurs sortes de matériaux :

Les colorants du commerce : ils ont l'avantage de donner une couleur stable si il ne sont pas dissous par un émail trop fusible comme pour les émaux à macro cristaux. Les colorants sont fabriqués en frittant des oxydes ensemble et telle combinaison d'oxyde donnera telle couleur ce sont donc des grains colorés qui colore par pigmentation

Les oxydes et carbonates : les plus utilisés sont le carbonate de cobalt $CoCO_3$, qui offre à mon avis une meilleure dispersion que l'oxyde , le carbonate de cuivre $CuCO_3$ (idem) , l'oxyde de Nickel NiO , l'oxyde de fer rouge Fe_2O_3 , le bioxyde de manganèse MnO_2 , le chrome Cr_2O_3 ...L'étain et le titane étant plutôt pas colorants eux-mêmes mais modifiant considérablement la couleur des oxydes présents . Pour un rouge de chrome le chrome est présent à environ 0,1 % mais sans étain il ne sera pas rouge

Les terres rares : praséodyme, néodyme, erbium, cérium, yttrium

Les terres rares sont peu présentes dans les ateliers céramiques, onéreuses et elles ont un pouvoir colorant assez faible sauf le cérium.

Il est à noter qu'un même oxyde colorant peut donner différentes couleurs suivant sa position dans le réseau. Par exemple le cobalt peut sous certaines conditions être rose

et le cuivre bleu . En gros il faut mettre le cuivre ou le cobalt en position de modificateur de réseau et ceci n'est pas si facile car plus la température de cuisson croît plus Cu^{++} ou Co^{++} seront en position formateur donc il est plus facile de faire un rose avec du cobalt à 1000° qu'à 1250° . En pratique le Li et le Na et le Zn auront tendance à déplacer les cations vers ces positions de modificateurs de réseau par contre K ou Ti auront l'effet inverse. J'ai rencontré ce problème en voulant faire un émail cristallisant mat au barium bleu de cuivre. Dans ma base qui était bien bleue mais sans cristal, l'ajout de titane faisait apparaître les cristaux tout en faisant virer le bleu au vert dommage...

Voilà ce que dit Jouenne au sujet des formateurs- modificateurs

En effet, le bore qui a une coordinance 3 pour l'oxygène peut prendre la coordinance 4, et l'oxygène introduit par l'oxyde est absorbé par le réseau. C'est également ce qui arrive dans les borosilicates contenant moins de 12 % de B_2O_3 . Tant qu'il n'y a pas un excès de Na_2O , l'introduction de l'oxyde alcalin aura pour effet de transformer un triangle $(\text{BO}_3)^{-3}$ en un tétraèdre $(\text{BO}_4)^{-5}$. Les groupements ainsi formés sont liés entre eux par tous leurs sommets et il n'y a pas d'oxygène non fixateur, les ions Na^+ assurent la neutralité électrique. La chaîne n'étant pas rompue, l'édifice est renforcé par l'introduction d'un oxyde alcalin jusqu'à concurrence de 1 Na pour 1 B (figure I-23).

Un comportement analogue a lieu par introduction d'alumine dans un verre $\text{SiO}_2\text{Na}_2\text{O}$ ou un verre silicaté plus complexe. Nous avons vu que dans de tels verres la chaîne des tétraèdres $(\text{SiO}_4)^{-4}$ est rompue avec formation d'ions oxygène non fixateur. L'introduction de tétraèdres $(\text{AlO}_4)^{-5}$ en position formateur de réseau permet une fixation directe des cations modificateurs, donc aux tétraèdres $(\text{SiO}_4)^{-4}$ de se ressouder. Il en résulte un renforcement du verre (augmentation de la viscosité, fusion à température plus élevée, résistance chimique accrue, etc ...) jusqu'à ce qu'on ait introduit autant d'atomes de Al que de Na.

Il en résulte que les performances des borosilicates passent par un maximum (anomalies du bore).

Si le réseau est suffisamment ouvert, les ions métalliques placés dans les interstices possèdent une remarquable liberté de mouvement et peuvent passer d'une position interstitielle à une autre en rendant le verre conducteur. La mobilité de ces ions peut être facilement mise en évidence. Soit un verre de composition molaire SiO_2 : 60 ; B_2O_3 : 30, Na_2O : 10 élaboré dans des conditions telles qu'il ne présente pas le phénomène de démixtion que nous étudierons par la suite (1). Appliquons à la surface bien polie de ce verre, deux électrodes d'argent espacées de 2,5 mm que nous soumettons à une tension de 1000 volts à 250°C pendant 24 heures dans une atmosphère humide. Il apparaît sous la cathode un dégagement d'hydrogène qui entraîne son décollement, avec formation d'une couche blanchâtre de soude qui se carbonate à l'air. Les ions Na^+ se sont déplacés de lacunes en lacunes sous l'effet du courant et se sont neutralisés sous la cathode : $\text{Na}^+ + \text{e}^- = \text{Na}^0$ qui s'est hydraté puis carbonaté : $\text{Na}^0 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NaOH} + 1/2 \text{H}_2$ ou $2 \text{Na}^0 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2$ tandis qu'à l'anode des ions Ag^+ ont pénétré dans le verre sous une profondeur de l'ordre de 30μ : $\text{Ag}^0 \rightarrow \text{Ag}^+ + \text{e}^-$. Le rayon ionique de l'argent ($\text{Ag}^+ = 1,13 \text{ \AA}$) supérieur à celui du sodium ($\text{Na}^+ = 0,97 \text{ \AA}$) provoque la mise en tension du matériau, conduisant à la brisure du verre sous l'anode. L'enregistrement de l'intensité au cours de l'électrolyse montre que la résistance électrique du verre varie peu en fonction du remplacement du sodium par l'argent. Une étude à la sonde de Castaing montre que l'argent a remplacé le sodium dans une proportion de 43 % dans la zone de pénétration.

Les ions formateurs d'un verre de base sont petits, fortement chargés et de coordinance 3 ou 4, alors que les ions modificateurs sont de grand diamètre et de faible valence. Des ions modificateurs de réseau peuvent passer à la position de formateurs et inversement. L'équilibre entre les deux formes dépend des caractéristiques des ions considérés et plus précisément de l'intensité du champ cationique Z/a^2 .

Z = valence du cation

a = $r_1 + r_2$ = somme des distances cation/anion

e = charge élémentaire

Les ions correspondant à une intensité élevée occupent les positions de formateur et ceux correspondant à une faible intensité sont en position de modificateur. D'une façon générale la formule d'un verre peut s'écrire $\text{A}^m\text{B}^n\text{O}$ dans laquelle B représente les cations formateurs du verre de base et A les autres cations quelle que soit leur position. On a remarqué que les propriétés les plus avantageuses d'un verre étaient obtenues quand n est voisin de 0,5.

La coloration du flux vitreux change pour un même cation, selon que ce dernier occupe l'une ou l'autre position. Exemple :

Ion.	Formateur de réseau.	Modificateur de réseau.
Cu^{2+}	Vert	Bleu
Co^{2+}	Bleu	Rose
Ni^{2+}	Pourpre	Jaune
Fe^{2+}	Brun	Jaune
Mn^{2+}	Bleu	Rouge

(1) Fauchey et Guignonis — Thèse ENSCI 1969-1970

Choix des matériaux

Deux grandes catégories les < naturels > et les < commerciaux >

Naturels

Différentes sources minérales (roches, argile), végétale (cendres diverses), animale (cendre d'os, coquille d'huitre...).

Le point commun de ces matériaux c'est que l'on ne connaît pas leur composition à priori et qu'il demande une préparation pour être employé

Commerciaux

Les matériaux céramiques courants se trouvent chez vos fournisseurs habituels.

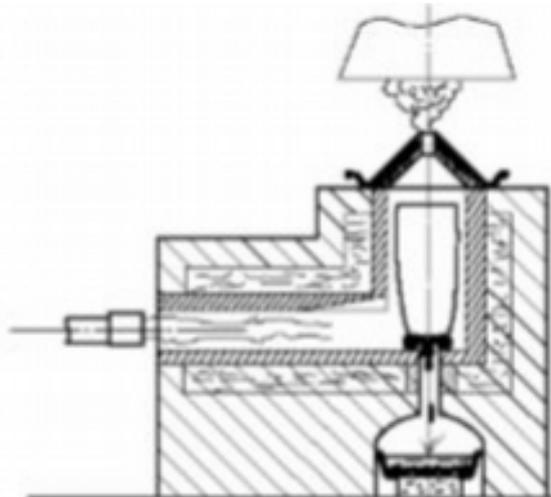
Les matériaux les plus utilisés en céramique

Les feldspaths, la craie, le talc, la dolomie, le kaolin, la silice

Pour les oxydes colorants le fer, le cobalt, le manganèse, le cuivre, le nickel et le titane Les matériaux qui élargiront votre palette

Le bore, le baryum, le zinc, le strontium, le lithium

Les frites. J'utilise beaucoup celles-ci pour différentes raisons La première est liée au fait qu'on en trouve de toutes compositions, contrairement au feldspath beaucoup contiennent peu d'alumine, il s'agit d'un produit qui est déjà vitrifié ce qui pose moins de problème environnementaux pour les rejets, il semble de plus qu'un émail de même formule molaire aura moins de rejets dans l'alimentaire que le même fait avec des matériaux bruts. Elles sont en théorie insolubles. Il se trouve que certaines gardent une certaine solubilité qui peut poser problème Vous trouverez en annexe les différentes frites que j'utilise.



Les colorants Ce sont aussi des frites. Ce sont différents oxydes qui combinés ensemble donnent des grains d'une couleur donnée . Ceci est vrai tant que le verre qui les mouillent ne les décompose pas ce qui est souvent le cas des émaux cristallisants

Tamissage et affinage

Le tamissage consiste à éliminer les particules les plus grosses d'un matériau et d'assurer une meilleure dispersion des différents éléments constitutifs de la glaçure.

L'affinage ou broyage consiste à faire tourner le produit à broyer avec des billes de corindon dans une jarre en porcelaine ou dans un moulin à galet. Avec l'emploi des minéraux bruts l'emploi d'une jarre ou d'un moulin s'avère vite nécessaire...Pour des petites quantités voici une video de ma solution

Le tamisage n'est pas obligatoire pour beaucoup de matériaux du commerce . Plus la toile de tamis est fine plus le tamisage est fastidieux, un tamisage avec un tamis de 60 m'a toujours donné satisfaction.

Emaillage

Différentes méthodes

Il existe 3 méthodes courantes dans les ateliers artisanaux

Le bain

On prépare une quantité d'émail importante et on y plonge les pièces relativement rapidement. Dans ce cas on règle la densité du bain pour avoir l'épaisseur voulue. Même geste même densité même porosité du tesson donne une même épaisseur. En général on protège les pieds des pièces (par exemple avec de la cire) pour ne pas avoir à désémailler si on ne possède pas de désémailluse

La variante de cette technique est le déversement encore appelé louchage.

Le pistolet

Dans ce cas il est indispensable d'effectuer cette opération dans une cabine d'émaillage à aspiration et rideau d'eau pour votre santé et celle de la planète.

Le pinceau

Plus long que les deux précédentes méthodes mais il convient bien aux essais et évidemment au décor

Pour des raisons économiques on émaille quelque fois sur pièces crues, Dans ce cas les émaux qui conviennent le mieux sont des émaux contenant des argiles grasses ou de la bentonite ou un ajout de colle cellulosique qui permettront une meilleure accroche de l'émail à la pièce.

Plus généralement on émaillera sur biscuit

La température de biscuit est généralement autour de 1000°C. L'avantage de biscuiter plus bas est l'économie par contre biscuiter plus haut permet quelques fois un dégazage de la terre sans créer de défauts dans la glaçure.

Additifs à l'eau du bain (Eau de pluie ou eau du robinet)

Quoique bien souvent on dilue directement les poudres de matières sèches dans l'eau, l'ajout de différents matériaux peut améliorer grandement la pose de l'émail sur le tesson

Colle

Elle facilite la manutention

Les défloculants

Quelque fois on a une glaçure qui est sujette au plombage du bain (présence de fritte, manque de partie argileuse etc) un défloculant peut alors améliorer car il diminue la quantité d'eau nécessaire . De même l'ajout de bentone ou de bentonite est conseillé

Les antiferments

Empêche la prolifération des micro-organismes Avant on utilisait du formol maintenant du Noval

Voici une recette adaptée aux produits de Solargil de ce qui est proposé par Heins Severinjs comme additif au bain d'émail. Cela peut être simplifié. Avec de tel additif on peut diminuer la quantité d'eau à ajouter à la matière sèche par deux

10 gr de Dolaflex B

10gr de colle à émail

5 gr de suspensif

5 gr de Peptapon

3gr d'antiferment

2.5gr de Dolapix

ceci pour 6 kg de matière sèche

pour la préparation ajouter progressivement chaque ingrédient un à un en remuant à chaque fois

Mesure de la densité du bain

On peut utiliser un densimètre ce qui est moyennement précis.

On peut utiliser aussi une cannette que l'on remplit à ras bord. À masse de cannette pleine constante équivaut une densité constante du bain.

Mesure de l'épaisseur

L'épaisseur de l'émail est un paramètre important dans la réussite de celui-ci . Elle est liée à la densité du bain, à la durée d'immersion et à la porosité du tesson Différentes méthodes :

Coup d'ongle dans l'émail (ne convient pas aux personnes qui se rongent les ongles et a une précision toute relative)

Mesure avec un peigne de hauteur de dents différentes (valable que sur surface plate)

Mesure avec mon bricolage voire vidéo



Cuisson

Pour les cuissons il y a différentes façons de voir le problème. Une école traditionnelle qui effectuera des cuissons très lentes et une tendance plus technique qui effectuera des paliers aux endroits critiques mais qui cuira le plus vite possible pour économiser l'énergie. Ce qui donnera des conceptions de four fort différentes

Dans l'industrie



Four à rouleau

Cuisson de l'ordre de 30 minutes de froid à froid pour 1200°C



Four tunnel

Les produits avancent sur de wagonnets les cuissons sont assez lentes mais l'énergie récupérée au refroidissement de la charge est utilisée pour la chauffe

Vidéo du fonctionnement

https://www.youtube.com/watch?v=UL_hRkaQzSE

Four intermittent



Le plus souvent à sole mobile ou à cloche. C'est ou l'enfournement qui se déplace ou la cloche. La durée de cuisson varie donc pour les différents types de fours de 30 mn à 1 semaine.

Dans l'artisanat

L'énergie utilisée est souvent l'électricité, le gaz ou le bois plus rarement le fuel. Ce sont toujours des fours intermittents.

L'électricité ne permet que des cuissons oxydantes (sauf si)

Pour les cuissons à l'électricité ou au gaz les fours sont en général correctement isolés et présentent une faible inertie au contraire des fours à bois. L'inertie d'un four influence son refroidissement.

Les parois des fours à gaz sont en fibres ou en briques légères. Celles des fours à bois en briques lourdes en général. Un four à bois d'un m³ fera une douzaine de tonnes, le même en fibre environ 400kg. Ce qui explique la différence de consommation d'énergie.

Four électrique



Le fait de ne pas avoir de cheminée fait que toute l'énergie sert à l'enfournement et à quelques déperditions par la paroi pour une cuisson particulièrement économique. Cuisson de six à 8 heures de montée

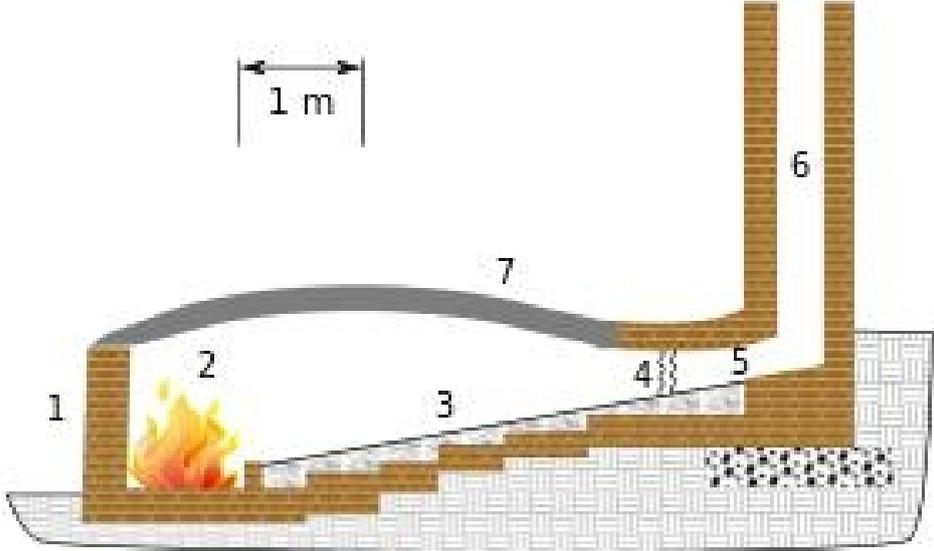
Four à gaz



Permet le contrôle de l'atmosphère en jouant sur le rapport gaz air
Les cuissons sont plus onéreuses mais peuvent être plus rapide.
Duroselle monte à 1000°C /heure

Les fours à bois

Différents types



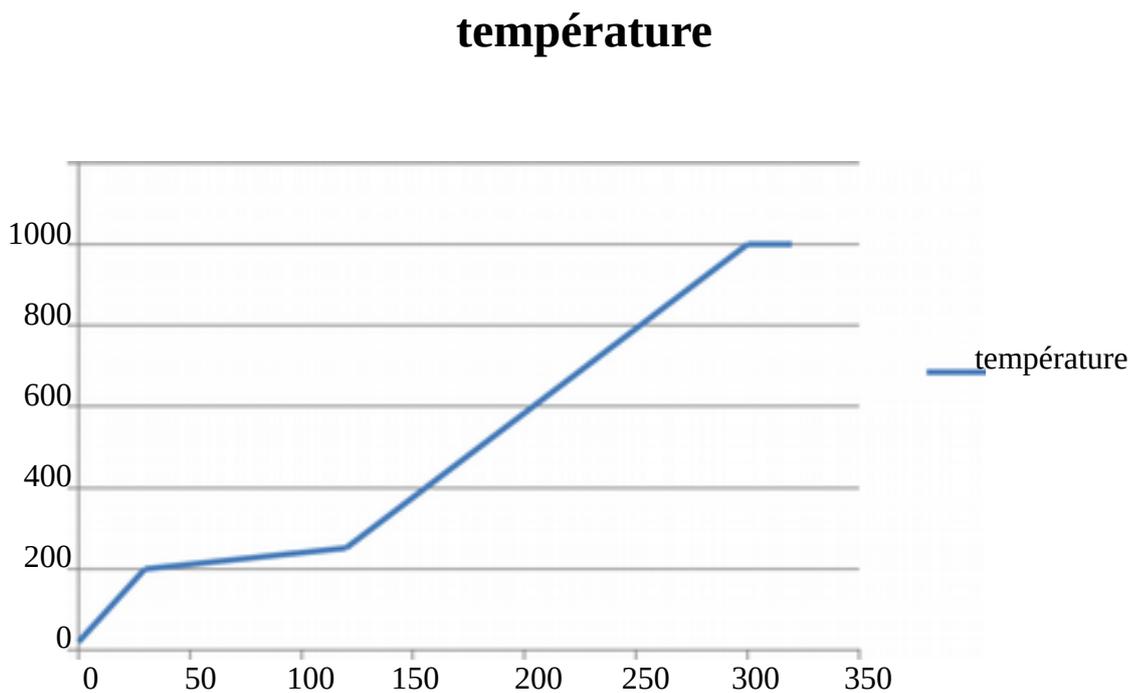


Biscuit

Le principe est de monter en température aussi vite que possible sans casser ni les pièces ni le matériel d'enfournement et faire un palier en fin de cuisson pour uniformiser la température du four. Évidemment le « sans casser les pièces » pose problème... Sachant que la plupart du temps les pièces cassent quand elles subissent des retraits et le retrait se faisant au séchage il convient donc de prendre des précautions lors de ce séchage. La zone de 200° à 250° est la zone de séchage. Cette zone peut durer entre 1 heure et 3 heures suivant l'épaisseur de la pièce et son humidité. Il est important de cuire le biscuit toujours à même température pour avoir toujours la même porosité pour qu'à l'émaillage une même densité de bain donne la même épaisseur.

Choisir sa température de biscuit est compliqué. Plus on biscuite haut plus on diminue le risque de dégazage du biscuit et d'échange entre le tesson et l'émail mais plus l'émaillage pose problème A Fürstenberg le biscuit se fait à 1400° et la cuisson d'émail se fait à 1300 !

Une courbe de température possible pourra être celle-ci





Cuisson émail

De mon point de vue (qui n'est pas partagé par tous les potiers) la vitesse de montée n'a aucune importance, pourvu que l'on ait un palier d'uniformisation de température en fin de cuisson, mais c'est la vitesse de descente en température qui a une influence sur le rendu de l'émail. Il y a des émaux qui peuvent avoir un refroidissement rapide c'est le cas des couvertes transparentes Mais il a des émaux qui demanderont un refroidissement ralenti pour les fours dont la température chute très vite . Par exemple un rouge de fer cristallise aux environ de 900° il n'aura pas le même rendu en descente rapide qu'en descente lente. Pour les émaux à macro cristaux la descente aura un rôle crucial Il est difficile de préconiser telle courbe plutôt que telle autre car la forme des cristaux et leur nombre dépendent de ce refroidissement . Si on préfère des cristaux assez géométriques on fera des paliers à plus haute température que si on veut des cristaux plus ronds ou de plus petites tailles Une courbe que j'ai beaucoup employé était refroidissement jusqu'à 1060° remontée à 1120 descente à 1100 en 2 heures descente à 1000 puis remontée à 1120 et descente de nouveau à 1000°



Pour ce qui est de l'atmosphère du four. On peut cuire en réduction à la montée à certain moment pour obtenir des effets sur les émaux (émaux au fer, rouge de cuivre etc) Ayant beaucoup pratiqué les émaux à macro-cristaux pour lequel la réduction à la montée n'est pas possible à cause du zinc qui est en grande quantité j'ai toujours fait des réductions à la descente en température. Cette réduction peut se faire entre 1100°C et 700°C Il est à noter qu'un rouge de cuivre traditionnel peut se cuire en oxydation en montée et une réduction à 700°C en descente Une période réductrice d'une demi heure est suffisante.



Aspects environnementaux, de santé et législatifs

Le site de Denis Caraty est très bien documenté sur la question des précautions à prendre pour sa santé et celle des utilisateurs des produits fabriqués.

Pour l'environnement je préconise

- . de préférer l'utilisation des matériaux frittés aux matériaux bruts dangereux comme le carbonate de baryum ou dans une moindre mesure le zinc.

- . de rincer l'outillage et les pinceaux dans une bassine, laisser décanter. Puis l'ensemble des déchets d'émail est mis dans un pot et vitrifié avant de rejoindre la poubelle.

- . d'essayer d'économiser l'énergie et en règle générale de préférer un pratique du métier le moins nuisible à l'environnement possible.

Pour sa propre santé

avoir un atelier lavable au jet, d'éviter les ponçages à sec source de poussières, utiliser une cabine d'émaillage performante . Les fours en fibre devront être placé si possible en extérieur

Pour la santé des utilisateurs la législation impose d'avoir des rejets de l'émail dans les pièces inférieure à certain taux. Elle ne concernait guère les hautes températures car elle était axée sur le plomb et le cadmium produits non employés

aux températures ou on travaille ici mais elle a changé et son champ d'application s'est élargi. Il est difficile maintenant d'être conforme à la législation car elle implique un suivi des matières premières, des tests relativement onéreux pour chaque série de pièces commercialisées ce qui semble difficile dans les petits ateliers....

Annexes

Utilisation de mini-jarres

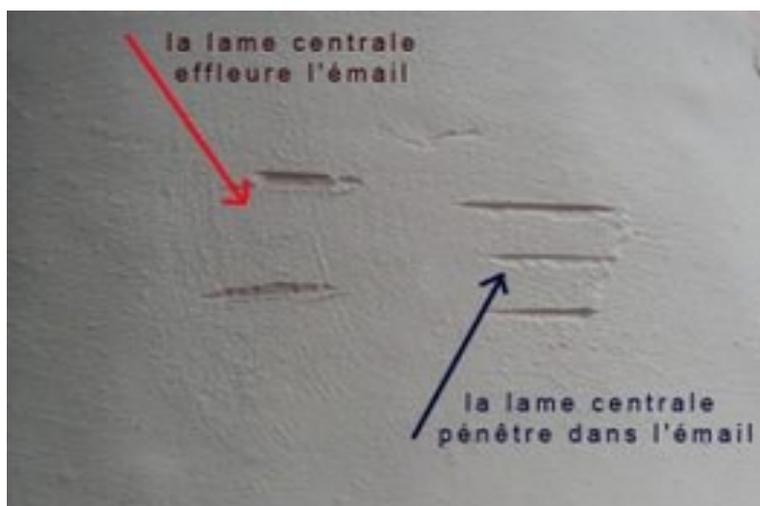
Quand on réalise des échantillons pour la recherche de nouveaux émaux on est confronté au problème du broyage en petite quantité. Si on met 50gr de matériaux à broyer dans une jarre en porcelaine de 5 litres on ne les retrouve pas !. Une solution est de passer aux flacons cylindriques en polyéthylène d'un demi- litre où cette même quantité est moins perdue. J'ai donc fait un bricolage à mettre sur le tour pour faire tourner ces flacons et réaliser des petites billes en porcelaine à faire tourner avec l'échantillon à broyer. Voir vidéo sur mon site

<http://www.alainfichot.com/2016/01/25/broyage-dechantillons-demail/>

Dispositif servant à mesurer l'épaisseur d'émail



Il est fabriqué avec deux lames circulaires de 60mm et une autre lame intérieure.



La lame centrale laisse une trace ou pas .Il suffit de repérer à partir de quel moment elle effleure pour avoir l'épaisseur de l'émail

Quelques tests et mesures sur émail cuit

On peut réaliser quelques tests assez simples pour voir le comportement d'un émail et les problèmes qu'il peut soulever

Tension superficielle

Un test assez simple consiste à rayer avec un cutter un émail cru et voir si après cuisson l'émail a nappé et a fait disparaître la trace du cutter ou au contraire s'il s'est retiré : un émail ayant une forte tension superficielle se retire celui qui en aura une faible nappera . On peut poser un échantillon d'émail sur une plaque que l'on cuit horizontalement . Après cuisson le diamètre de la " tache " d'émail ou l'angle que fait celui-ci avec la plaque donne une indication de la tension superficielle de l'émail par rapport à son support. On observe en même temps avec le halo de la tache la volatilisation de l'échantillon d'émail.

4 Dilatation thermique

On peut s'intéresser aussi à la dilatation thermique de l'émail par rapport à son support par exemple quand un émail a la fâcheuse tendance à faire casser la pièce ou que l'on n'aime pas les tressailages...

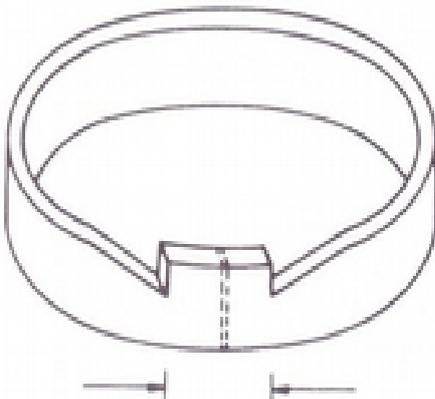
Une première méthode c'est de la calculer.

En gros chaque élément entrant dans la composition de la glaçure a sa dilatation propre et l'émail aura pour coefficient de dilatation la moyenne des coefficients de chaque matériau pondéré par le pourcentage molaire de ce matériau.. J'ai dit en gros car c'est un peu plus compliqué que cela le coeff pour un matériau pourra être différent suivant le type de glaçure. Encore une fois le site de Denis Caraty donne de plus amples explications <http://smart2000.pagesperso-orange.fr/dilatation.htm> Cette méthode est assez fastidieuse. Mais on peut faire confiance à l'ordinateur qui fera

les calculs à notre place et le site

<https://www.online-glaze-calculator.com/Calculator/fr2.php> le fera en calculant par la même occasion la température de fusion et la formule molaire comme vu précédemment

Une méthode pratique consiste à remplir à moitié un godet d'émail cru et de le passer au four. Après cuisson ou l'émail a tressaillé ou il a fait casser le godet ce qui indique que l'émail s'est plus retiré que le tesson ou au contraire que le tesson se retire plus que l'émail au refroidissement



19 b. Anneau échantillon de tension.

Une autre méthode plus précise consiste à réaliser un anneau comme celui-ci que l'on émaille uniquement à l'extérieur . Après cuisson on mesure la distance entre les deux ergots avant sciage et après. Si l'anneau s'est dilaté cela indique que la glaçure était en traction donc tendance au tressailage, si au contraire l'anneau s'est contracté la glaçure était en compression ce qui peut provoquer la casse des pièces ! Il peut même arriver que l'on ait pas le loisir de faire les mesures car ...l'anneau s'est cassé de lui-même au refroidissement. Dans ce dernier cas il est plus raisonnable d'abandonner l'usage de cet émail ou de fortement le modifier...

Mes livres préférés

Les glaçures céramiques méthodes de recherche Marc Uzan

Son site <http://marcuzan.fr/>

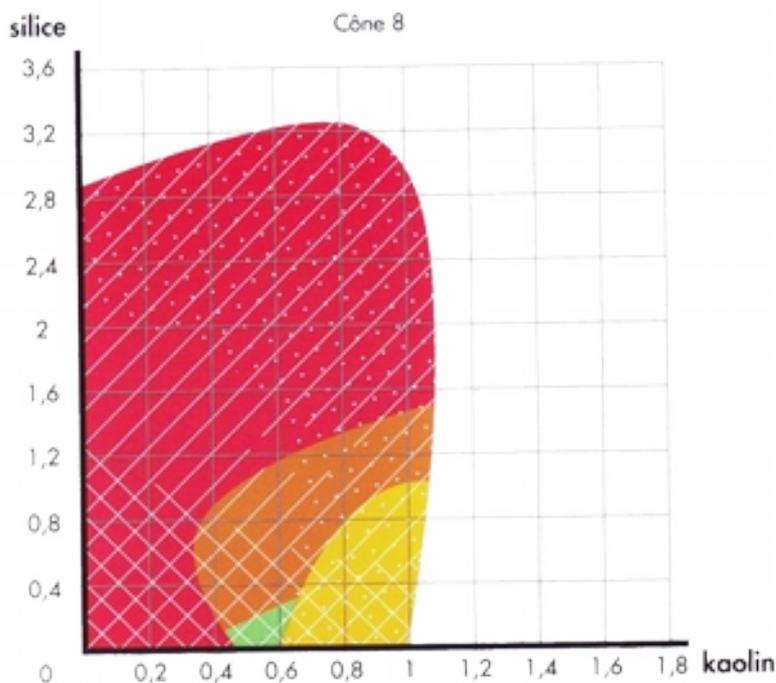
Livre : les glaçures céramiques méthodes de recherche

Dans ce livre Marc Uzan nous indique sa méthode de recherche mais aussi les résultats qui ont été obtenus par une recherche collective. Les résultats de cette recherche se présente sous forme graphique s'apparentant un peu au diagramme de FDM mais on a là le résultat de la cuisson du mélange considéré et non de la fusion théorique. De plus cette étude a été faite avec un panel plus grand que FDM puisque on a en plus le bore (B_2O_3), le barium, le zinc mais on a en moins le MgO .

Pour utiliser les résultats de ces représentations il ne faut pas oublier que par rapport au diagramme de FDM l'origine est la recette de base indiquée et non le (0 silice,0 alumine) . Les zones colorées sont « exploitables » les différentes hachures correspondent à l'opacité, la translucidité ,l'opalescence, le tressaillage etc, les couleurs correspondent au brillant, mat, microcristallisé

Recherche n° 18

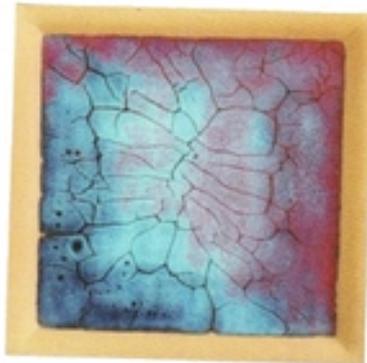
KNaO :	0,45	Néphéline :	2,09
CaO :	0,45	Craie :	0,431
ZnO :	0,05	Oxyde de Zinc :	0,04
BaO :	0,05	Carbonate de Baryum :	0,098
		TOTAL :	2,66
Al_2O_3 :	0,47		
SiO_2 :	2,11		



Wolf E. Matthes ■

Émaux et glaçures céramiques

■ *Plus de 1100 formules*



EYROLLES

Émaux et glaçures céramiques de Matthes

Le livre de base fait par Wolf Matthes ingénieur céramiste suisse qui a fait une grande partie de sa carrière à Höhr-Grenzhausen comme enseignant. Son livre aborde tous les aspects des émaux, des matières premières de leur rôle dans la glaçure, les notions assez technique de dilatation, de tension superficielle ainsi que les tests simples à faire sur les émaux. La seconde partie de l'ouvrage est un vaste catalogue de 1100 recettes avec leur formules. De mon point de vue le meilleur bouquin restant accessible.

C.A. JOUENNE

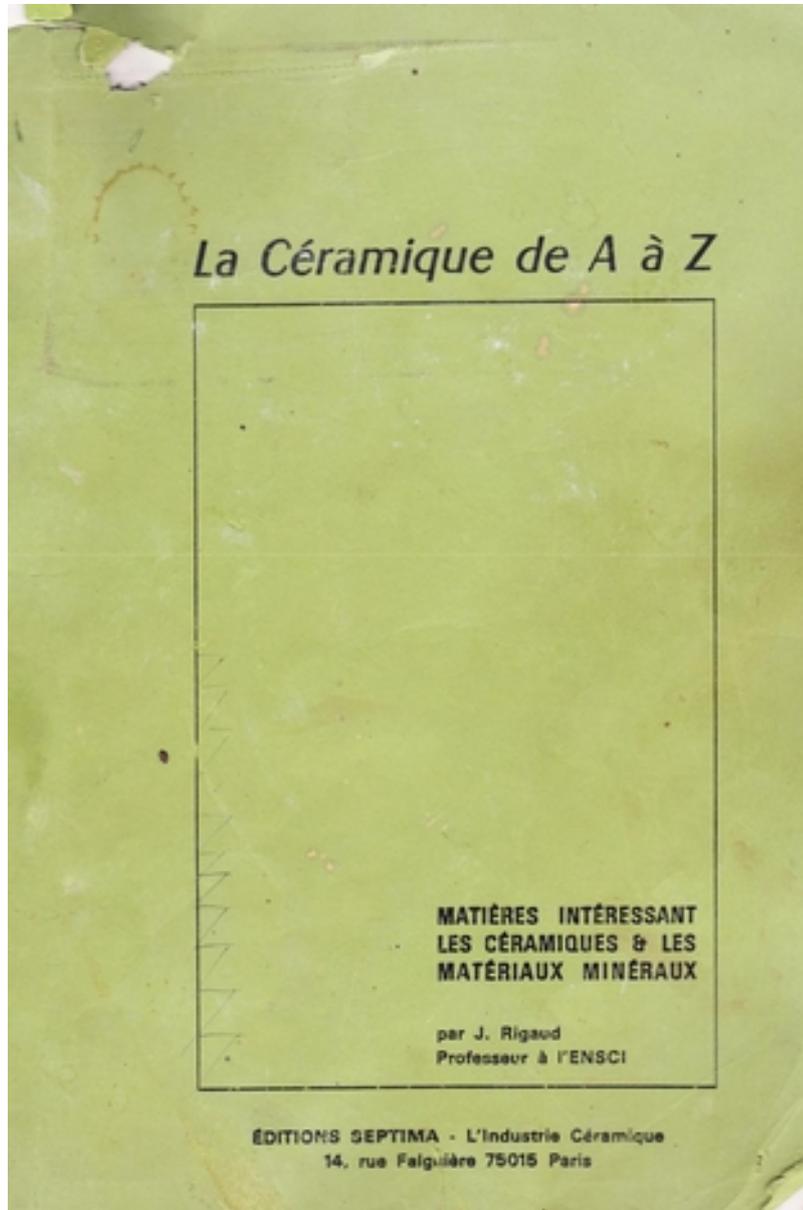
**Traité
de
Céramiques
et
Matériaux
Minéraux**

Editions **Septima**. Paris. 1984

Traité de céramique et de matériaux minéraux de Jouenne

Il faut avoir quelques prérequis pour pouvoir le lire , mais si on se pose une question technique difficile vous pouvez trouver la réponse mais faut chercher et avoir quelques connaissances en chimie pour pouvoir lire ce bouquin....

**La
céramique
de A à Z
de Rigaud**



Contrairement à ce que suggère son titre c'est un bouquin sérieux qui passe en revue les matériaux céramiques leur fabrication et leur emploi

Mes sites de références

online-glaze-calculator.com

glazy.com

ledouget.fr

smart2000.pagesperso-orange.fr

pmoutereau.free.fr/frittes/frittes.html

<https://digitalfire.com>

Les frites que j'utilise

VTR 109	SiO₂	Al₂O₃	Na₂O	K₂O	CaO	ZnO	LOI
Percentage Analysis	63.124	3.061	19.224	2.828	2.805	8.958	
100% Percentage Analysis	63.124	3.061	19.224	2.828	2.805	8.958	
Formula	2.100	0.060	0.620	0.060	0.100	0.220	
Mole Percent	66.456	1.899	19.620	1.899	3.165	6.962	

D90420	SiO₂	Al₂O₃	Li₂O	Na₂O	K₂O	BaO	ZnO	LOI
Percentage Analysis	41.280	2.780	1.390	0.090	0.090	34.990	19.330	
100% Percentage Analysis	41.301	2.781	1.391	0.090	0.090	35.008	19.340	
Formula	1.335	0.053	0.090	0.003	0.002	0.443	0.462	
Mole Percent	55.905	2.219	3.786	0.117	0.080	18.568	19.326	

CRA (plus commercialisée)	SiO₂	Na₂O	K₂O	MgO	ZnO	LOI
Percentage Analysis	47.000	7.500	14.000	4.900	26.600	
100% Percentage Analysis	47.000	7.500	14.000	4.900	26.600	
Formula	1.089	0.169	0.207	0.169	0.455	
Mole Percent	52.139	8.065	9.907	8.103	21.786	

FR4	SiO₂	Al₂O₃	Na₂O	K₂O	CaO	LOI
Percentage Analysis	66.412	1.409	11.418	13.014	7.748	
100% Percentage Analysis	66.411	1.409	11.418	13.014	7.748	
Formula	2.400	0.030	0.400	0.300	0.300	
Mole Percent	69.971	0.875	11.662	8.746	8.746	

1252	SiO₂	Al₂O₃	B₂O₃	Na₂O	K₂O	CaO	LOI
Percentage Analysis	43.730	13.830	22.570	1.850	2.800	15.210	
100% Percentage Analysis	43.734	13.831	22.572	1.850	2.800	15.212	
Formula	2.200	0.410	0.980	0.090	0.090	0.820	
Mole Percent	47.931	8.932	21.350	1.965	1.959	17.862	

PR17	SiO₂	Al₂O₃	B₂O₃	Na₂O	K₂O	CaO	SrO	BaO	ZnO	LOI
Percentage Analysis	1.090	0.075	0.100	0.176	0.004	0.184	0.003	0.078	0.554	
100% Percentage Analysis	48.145	3.313	4.417	7.774	0.177	8.127	0.133	3.445	24.470	
Formula	1,09	0,08	0,1	0,18	0	0,18	0	0,08	0,55	
Mole Percent	53.639	2.175	4.247	8.396	0.126	9.702	0.085	1.504	20.126	

77355	SiO₂	Al₂O₃	K₂O	ZnO	LOI
Percentage Analysis	34.107	7.235	6.684	51.975	
100% Percentage Analysis	34.107	7.235	6.684	51.975	
Formula	0.800	0.100	0.100	0.900	
Mole Percent	42.105	5.263	5.263	47.368	

3110	SiO₂	Al₂O₃	B₂O₃	Na₂O	K₂O	CaO	LOI
Percentage Analysis	69.570	3.935	2.687	15.309	2.181	6.277	0.041
100% Percentage Analysis	69.598	3.937	2.688	15.316	2.182	6.279	
Formula	3.000	0.100	0.100	0.640	0.060	0.290	
Mole Percent	71.599	2.387	2.387	15.274	1.432	6.921	

Dosage en volume

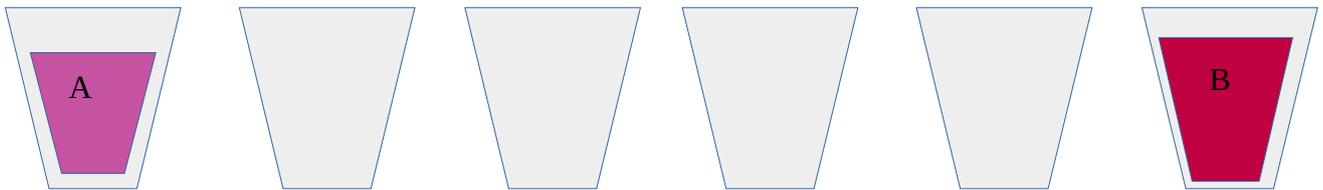
mis à jour le 12/04/2021

Le dosage en volume permet de faire des essais beaucoup plus vite que de peser les échantillons un à un. Pour cela on peut utiliser une seringue. Celles-ci sont graduées. Au cours du stage nous utiliserons trois volumes de seringue : les 1ml, les 3ml et les 10ml ; ml veut dire millilitre (1 g pour de l'eau). On pourrait utiliser aussi la goutte mais il faut 20 gouttes d'eau pour faire 1ml et donc pour faire des échantillons de glaçure conséquent il faudrait compter trop de gouttes. Nous utiliserons le compte-goutte que pour doser les oxydes colorants comme on le verra plus tard.



Progression en ligne

On veut par exemple voir l'influence d'un matériau dans une recette de base. Par exemple on voudra voir ce qui se passe quand on ajoute plus ou moins de titane dans une recette . On prépare 10 g de cette recette de base et on va ajouter 10 gr d'eau. On obtient donc 20g d'émail mouillé . On divise en deux parties égales (ou par pesée ou en volume) que l'on met dans deux godets A et B; on aura donc 10 gr d'émail dans chaque godet soit 5g en matière sèche par godet. Dans le godet B on va ajouter du titane, on va par exemple en ajouter 8% (ces 8% sont calculés sur la matière sèche) soit 0,4g de titane. On mélange. Maintenant si on veut faire 6 échantillons pour notre progression nous aurons 6 godets



et nous allons avec une seringue répartir dans les 4 godets vides de l'émail A et B pour avoir ceci:



Notre notation indique que dans le premier verre vide on mettra 4 doses de A et une dose de B
dans le second verre vide on mettra 3 doses de A et 2 doses de B
dans le troisième verre vide on mettra 2 doses de A et 3 doses de B
etc

La dose ici pourra être ici de 0,5 de ml. On utilisera les seringues de 3 ml et on mettra dans le premier verre vide $4 \times 0,5$ ml soit 2ml de A , puis 1,5ml dans le verre d'après, puis 1ml etc On fera la même chose pour B dans l'autre sens. Après touillage, on passe au pinceau sur les tests que l'on notera au crayon oxyde A ,4A1B , 3A2B , etc Après cuisson si on veut savoir la recette de l'échantillon merveilleux qui se trouve être le 3A2B on multiplie la recette du A par 3 et la recette de B par 2 et on ajoute les deux recettes. Dans le cas présent comme il s'agit d'un ajout limité au titane de 8% on aura un ajout de 2 cinquièmes de 8% soit 3,2%. (Les essais correspondent à 0% ; 1,6% ; 3,2% ; 4,8% ; 6,4% ; 8%)



Utilisation de mon moule à essais que j'appelle Ernest

J'ai fabriqué Ernest en élastomère qui va nous permettre de faire une progression suivant deux axes et de transférer nos échantillons directement sur la tuile sans l'intermédiaire du pinceau. (J'appelle cet outil un bac à glaçons mais si on utilise directement un bac à glaçons du commerce on risque d'avoir quelques désagréments surtout au moment du retournement sur la tuile j'ai beaucoup cherché un fournisseur qui commercialiserait ce genre d'outil pour glaçons ou confiseries quitte à refaire un support pour le retournement, mais je n'en ai pas trouvé dont les dimensions me satisfassent et les essais faits se sont soldés par des échecs)

Il existe plusieurs versions d'Ernest

Une version 5x5 5 rangées de 5 cavités qui font chacune environ 4,4 cm². Cette dimension a été choisie car, pour moi, c'est un bon compromis entre la visibilité de l'essai (bonne pour la plupart des émaux classiques) et la dimension de la tuile des 25 essais qui ne fera que 13,5 x 15 cm Les cavités sont „nommées“ avec le même système de numérotation que pour la progression en ligne mais en un peu plus compliqué.. Vous pouvez penser que la méthode demande beaucoup de travail avant de commencer de réaliser le premier essai et que ça ne vaut pas le coup mais une fois que ce travail en amont est fait cette méthode devient très rapide

Une version 3x3 qui comprend donc que 9 cases de 16 cm² et qui s'utilise avec la même dimension de tuile

Une version 4x4 de 16 cases qui ont la même taille que celles du 5x5 qui s'utilise avec une tuile plus petite de 11x11,5

Les numérotations correspondantes

pour le 3x3

2D	1A 1D	2A
1C 1D	1A 1C	1A 1B
2C	1B 1C	2B

Pour le 4x4

3D	1A 2D	2A 1D	3A
1C 2D	1B 2D	1A 1B 1D	2A 1B
2C1D	1B 1C 1D	2B 1D	1A 2B
3C	1B 2C	2B 1C	3B

Pour le 5x5

4D	1A3D	2A2D	3A1D	4A
1C3D	1B3D	1A1B2D	2A1B1D	3A1D
2C2D	1B1C2D	2B2D	1A2B1D	2A2B
3C1D	1B2C1D	2B1C1D	3B1D	1A3B
4C	1B3C	2B2C	3B1C	4B

Cela peut paraître bizarre que sur la ligne du dessus le D soit à gauche et le A à droite mais ceci est nécessaire pour avoir après retournement de notre moule sur la tuile, une tuile finie avec le A à gauche et le D à droite.

Premier pas avec Ernest

Pour ne pas avoir de mauvaises surprises du fait d'une mauvaise utilisation je vous engage à suivre ces conseils pour la première utilisation d'Ernest Si vous avez un Ernest 5x5 vous suivez les instructions telles quelles

Tout d'abord un premier test pour voir ce que donne une épaisseur donnée en pratique.

On fera un test simple de 10 gr Par exemple 9 gr de syénite et 1 de kaolin que l'on diluera dans 16 g d'eau. On utilisera une seule ligne d'Ernest celle qui va de 4A à 4B

Dans la case 4A on va mettre 0,6 ml de notre mélange ce qui donne environ **0,3 g de matière sèche**

Dans la case 3A1B on va mettre 0,8 ml de notre mélange **0,4 g**

Dans la case 2A2B on va mettre 1 ml de notre mélange **0,5 g**

Dans la case 1A3B on va mettre 1,2 ml de notre mélange **0,6 g**

Dans la case 4B on va mettre 1,6 ml de notre mélange **0,8 g**

On ajoute environ 0,5ml à 1ml d'eau dans chaque case et on procède comme il est expliqué précédemment.

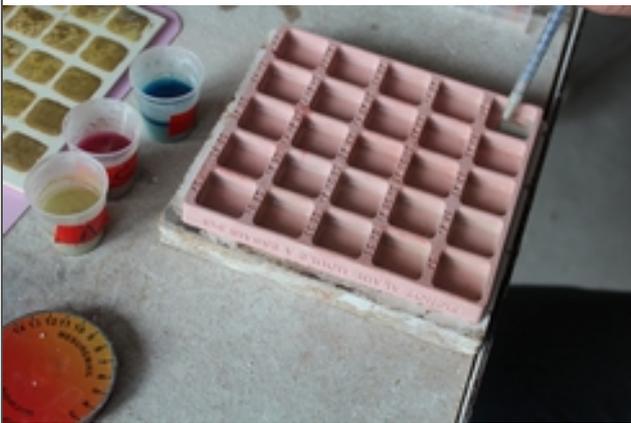
De deux choses l'une ou tout s'est bien passé et on a 5 tests de 5 épaisseurs différentes ou cela a fuit de partout (cas où la tuile n'est pas plane, Ernest pas assez appuyé sur la tuile car on a oublié le bout de mousse ou trop dilué) ou cela n'est pas uniforme (pas assez dilué).

Si on a tout fait correctement on aura les quantités indiquées en **rouge** par case

Une fois que l'on a réussi brillamment le premier test on peut passer au second

Deuxième test pour s'entraîner

On commencera par une recette simple pour que cela soit vite pesé par exemple une base à trois ou quatre composants. On fera 25 g de cette base dans un verre plastique que l'on note B auquel on ajoute 40gr d'eau. On touille. On va mettre le quart de cette préparation $(40+25):4$ soit 16,2g dans un verre A que l'on complète avec 1 g de kaolin . Pareil pour C où on met 2 de silice et dans D où on met 1 de kaolin et 2 de silice. Si vous avez des colorants alimentaires à votre disposition ce qui n'est pas indispensable mais souhaitable vous pouvez en mettre pour colorer différemment A, B, C et D ça fait joli , ça n'a aucune incidence sur le résultat et on voit tout de suite si on a oublié un élément dans une case.



On pose Ernest sur sa planche et son bout de mousse Avec une seringue de 1 ml on fait la répartition dans Ernest en commençant par mettre le A on prend comme dose 0,2ml Dans la case 4A on met 4 doses de A soit 0,8ml, dans la case 3A1D contigüe on met 3 doses de A soit 0,6ml etc etc Il faut mieux faire tous les A en faisant ligne par ligne de façon ordonnée car on a vite fait de s'y perdre. On continue avec les B. On peut s'aider d'un cache que l'on fait avancer ligne par ligne au fur à mesure du remplissage.

Quand Ernest est rempli on ajoute +ou- 0,5 ml d'eau par case. On prépare notre tuile en notant la recette de base, les ajouts et l'épaisseur ici 0,4 On recouvre Ernest d'un plastique un peu rigide + une plaque de „bois“ On serre un peu on secoue pour que ça se mélange dans les cases. On remplace notre plaque plastique par la tuile on secoue on retourne et on attend. On voit des dépressions qui se forment sur l'envers d'Ernest. Quand Ernest est redevenu plat on peut l'enlever avec un peu de précaution pour ne pas abîmer les tests.

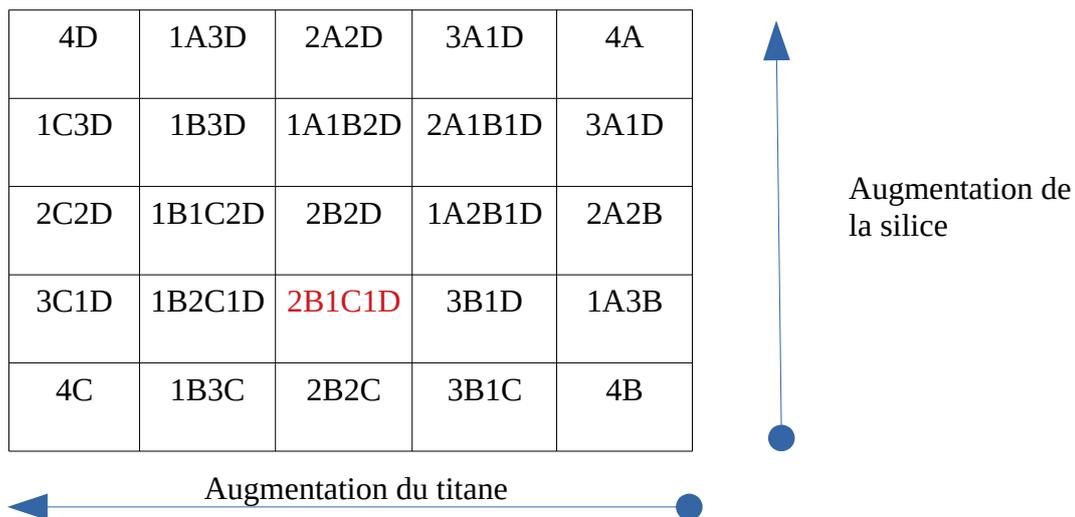
Il ne reste plus qu'à enfourner.....

Remarque avec cette méthode de ne faire qu'une pesée pour la base et de faire des ajouts pour avoir A, C et D il faut que les ajouts restent faibles. Car autrement non seulement on modifie l'épaisseur de A, C et D par rapport à B mais cela peut devenir non gérable car si on veut ajouter 5 g de silice et 5 g de kaolin à notre base de 10 g dilué à 16 g pour avoir D, D sera trop pâteux pour le dosage à la seringue. Dans le cas d'ajout important il faut donc faire 4 pesées pour A, B, C et D

Exemple de progressions possibles

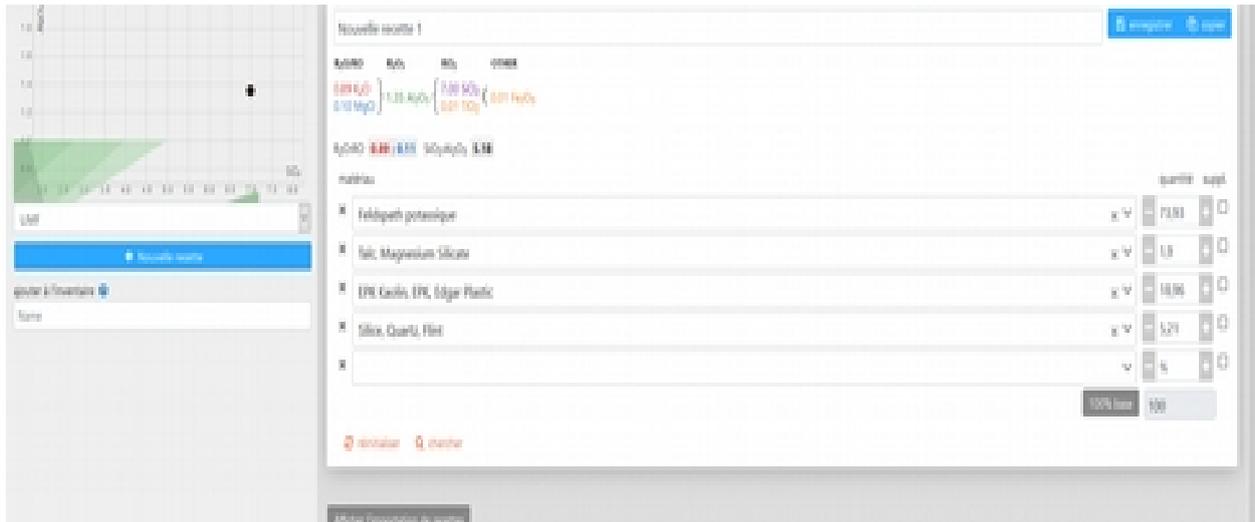
On pourrait par exemple mettre un céladon dans la case A, un rouge de fer dans B, un blanc magésien dans C et un émail à la cendre de géranium dans D mais les résultats, peut-être au demeurant fort intéressants, seraient difficilement interprétables. On fera des progressions plus orthodoxes et surtout plus utiles du type par exemple

---- On prend une base B que l'on divise en 4 parties égales. Dans le godet A on ajoute de la silice par exemple 10%, dans C on ajoute 5% de titane, dans D 10% de Si et 5 de Ti et pour le B on n'ajoute rien. On va faire comme pour la progression en ligne en mettant par exemple dans la case **2B1C1D** 2 doses de B, une de C et une de D etc

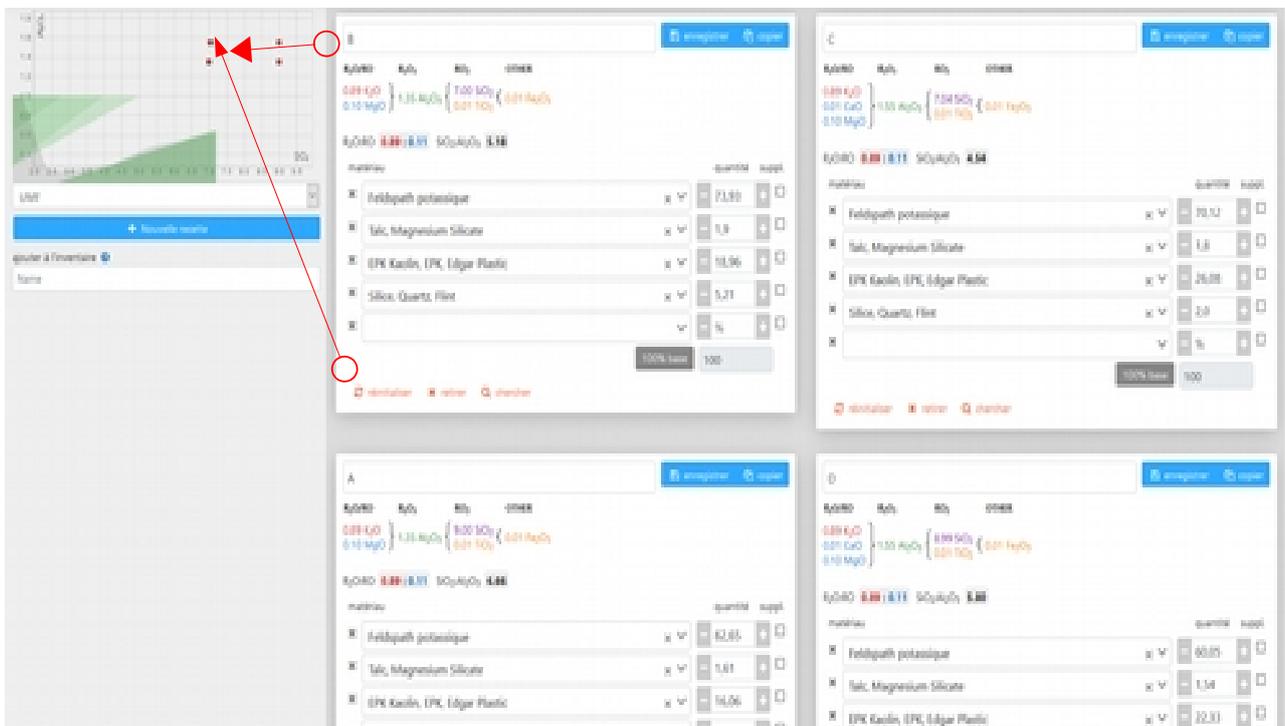


---- On peut aussi vouloir voir ce que donne, dans un émail donné, le remplacement d'une fritte, par exemple, boracique par, par exemple, une fritte alcaline avec en plus une variation sur la silice. On fait la recette B avec la fritte boracique, on fait la recette C avec la fritte alcaline. B on le divise en deux godets A et B; dans le A on ajoute 15% de Si. On procède de la même façon pour C et D. On se retrouve avec 4 godets A, B, C et D et on procède comme précédemment

---- On peut aussi vouloir explorer une petite zone d'un diagramme donné. Par exemple dans le diagramme du bouquin de FDM le diagramme „59“ (0,1 MgO 0,9 KNaO) on pourra faire varier l'alumine entre 1,35 et 1,55 et la silice entre 7 et 9. Pour les calculs on utilisera Glazy On détermine notre point B avec la calculatrice Glazy qui est l'endroit à 1,35 de Al_2O_3 et 7 de SiO_2 .



On recopie 3 fois notre recette. Sur la 1^{ère} copie on ajuste la silice pour la retrouver à 9, sur la 2^{ème} on ajuste l'alumine pour la mettre à 1,55, sur la troisième copie on ajustera pour avoir à la fois 1,55 d'alumine et 9 silice. On clique sur le bouton % pour que nos 4 recettes se retrouvent sur 100 (de cette façon il sera plus facile d'en réaliser 10gr de chaque). Plus bas la capture d'écran de ses 4 recettes Remarque les axes silice alumine sont inversés chez FDM par rapport à Glazy (diagramme en haut à gauche)



Autre exemple : faire une recherche à partir d'une recette donnée

Voici une recette d'un noir donnée par Charles Hair. Il nous dit cuire à 1280°C en réduction. Il faut savoir qu'une recette doit toujours être adaptée à sa propre cuisson, ses matériaux, etc et si on fait directement la recette que l'on a trouvé sur le net ou ailleurs on a toutes les chances pour que le résultat ne soit pas au rendez vous....Donc on va explorer une zone autour de la recette de Charles Hair . La recette initiale est la suivante

Feldspath potassique 29,87 Craie 16,11 Kaolin 16,63 Silice 37,39 complété avec 8%de fer, 1% de chrome, 3% de manganèse

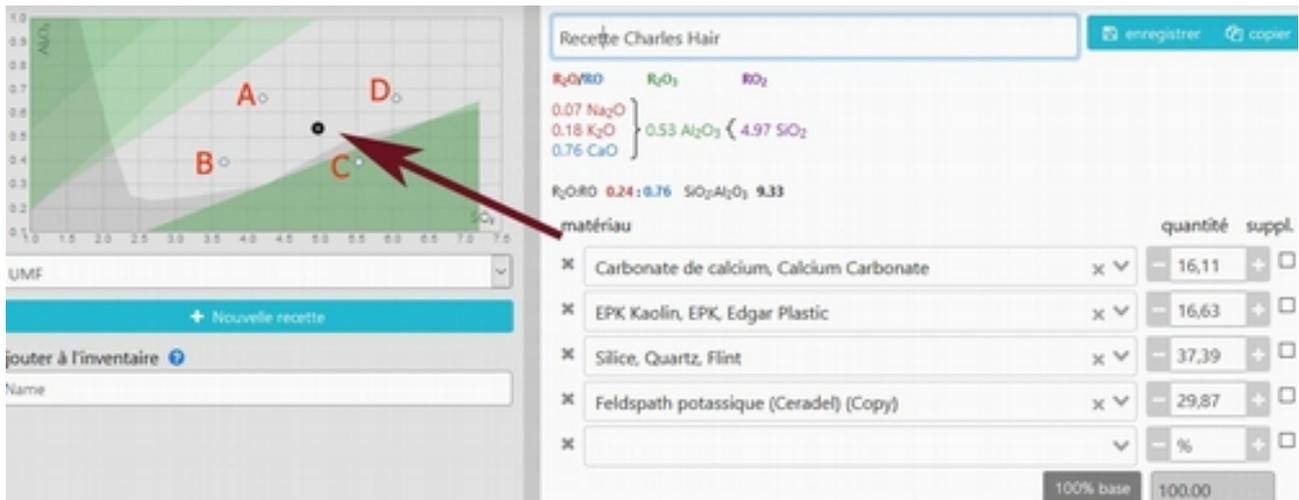


Cela donne en simplifiant un peu pour une vingtaine de grammes

4 de kaolin, 9 de silice, 4 de craie, 7,5 de feldspath, 0,25 de chrome, 2 de fer, 0,75 de manganèse

On va faire varier le kaolin et la silice pour tourner autour de cette recette

Pour cela on passera le kaolin de 2 à 6 et la silice de 6 à 12 Ce qui donne dans un diagramme de Stull



On prépare donc notre base B qui est

kaolin 2 silice 6 craie 4 feldspath 7,5 chrome 0,25 fer 2 manganèse 0,75 que l'on dilue à 26,4 gr d'eau pour avoir l'épaisseur désirée. On touille. On divise en 4 godets... dans B on n'ajoute rien; dans C on ajoute 1,5 de silice (6/4); dans A 1 de kaolin (4/4) et dans D on ajoute 1 de kaolin et 1,5 de silice. On opère comme d'habitude pour remplir Ernest (0,8 ml par case) et cela donne ceci après cuisson



De mon point de vue la zone la mieux pour mes matériaux et ma cuisson est vers la 2ème ligne 2ème colonne qui est la recette avec 5 de kaolin et 7,5 de silice et non le centre qui était la recette initiale. Il convient maintenant d'affiner la recherche en zoomant sur cette zone. On pourra par exemple faire varier le kaolin de 4,5 à 5,5 et la silice de 7 à 9

Dilution

L'eau avec cette méthode joue un rôle important car comment diluer notre émail pour que tel volume dans notre seringue nous donne l'épaisseur d'émail voulue sur notre échantillon. Il suffit pour cela de jouer sur la quantité d'eau que l'on ajoutera aux matières sèches (MS) et sur le volume que l'on déposera dans chaque case de notre „Ernest“.

On va vouloir mettre une certaine épaisseur d'émail pour réaliser nos échantillons, ce qui équivaut à dire que l'on veut un certain poids au cm^2 d'émail. Le problème est que certaines familles d'émail demandent à être posées plus épaisses que d'autres donc avec un poids au cm^2 plus grand Comment savoir? Il faut essayer car les mentions que l'on voit traîner dans les bouquins genre l'émail devra avoir une consistance crème fraîche ou pâte à crêpe sont vagues et inutilisables . Je préfère parler de gramme au cm^2 et par exemple un émail courant pourra être essayer à 0,08g au cm^2 dans un premier temps. Ce qui donnera une épaisseur (quand on émaille au trempé) d'environ 0,4mm Pour ceux que le calcul ennuie vous sautez le paragraphe suivant

Sachant que les matériaux utilisés dans un émail ont une densité d'environ 2,5 soit 2,5g au ml Si on met un poids P de notre matière sèche dans un volume V_{eau} (volume d'eau) on obtiendra un $V_{\text{émail}}$ (volume d'émail) qui sera $V_{\text{eau}} + (P/2,5)$. Sachant aussi que pour mesurer notre volume d'émail il est plus simple d'utiliser les graduations de 0,2 en 0,2 pour la seringue d'1 ml on fera des essais pour avoir des cases contenant 0,8ml d'émail dilué Vous suivez? Donc 0,4gr correspondant à 0,8ml, 10gr de MS correspondent à 20 ml et 10 gr de MS faisant 4 ml à nos 10 g de MS on ajoutera 20-4 ml d'eau soit 16 g

On ajoutera pour 10 gr de MS 16 g d'eau pour avoir notre épaisseur d'émail que l'on a choisie

Quand on a dilué notre émail correctement il suffit alors de sortir la seringue et remplir nos cases comme il est indiqué sur chaque case..... une fois le casier rempli on le retourne sur la tuile et on note au dos de la tuile les 4 recettes A,B,C et D il ne reste plus qu'à cuire.

En pratique pour améliorer la répartition de notre émail sur la tuile une dilution supplémentaire de l'émail facilite son retournement. On pourra mettre entre 0,5 ml et 1 ml par case (à ce niveau la précision n'a pas d'importance car ce n'est pas l'eau supplémentaire qui change la quantité de matière sèche déposée) . Il ne faut pas non plus exagérer cet ajout car il faut que l'émail ne mette pas trop longtemps à sécher sur la tuile. De plus poser son casier en élastomère sur une mousse

elle-même posée sur une plaquette en bois ou sur une autre tuile échantillon empêche les fuites éventuelles au moment du retournement car cela absorbe les défauts genre gauchissement de votre tuile.

Dans l'exemple au dessus on voulait 0,4 g de MS par case en ayant un volume de 0,8 ml d'émail par case (soit des doses de 0,2 ml) mais on peut vouloir faire un émail plus ou moins épais. Donc voici un tableau qui relie le poids de matières sèches à la dilution. Par exemple si on veut un émail plus mince à 0,3 gr par case on diluera nos 10g de MS avec 23g d'eau et on fera des doses de 0,2 ml soit 0,8ml par case . Si on veut 0,8 g par case on fera une dilution à 11g d'eau pour 10 de MS et on prendra une dose de 0,3 ml (et non 0,2) pour avoir 1,2 ml par case . Pour des épaisseurs encore plus importantes on fera des doses à 0,5 ml etc. Dans un premier temps sauf émail particulier on pourra n'utiliser que la ligne 0,4 . Les lignes 0,9 à 1,4 ne sont données ici qu'à titre indicatif pour des émaux particuliers

Pour l'utilisation d' Ernest 5x5 voici le tableau de correspondance .Pour la plupart des émaux on pourra utiliser la deuxième ligne .

En gr	Orange		Vert		Bleu	
	V en ml	Eau pour 10gr	V en ml	Eau pour 10gr	V en ml	Eau pour 10gr
0,3	0,8	23				
0,4	0,8	16				
0,5	0,8	12				
0,6	0,8	9				
0,7			1,2	16		
0,8			1,2	13		
0,9			1,2	11	2	21
1			1,2	9	2	18
1,2					2	16
1,4					2	13
					2	10

Pour Ernest 3x3

Dans la plupart des cas on fera des tests de 3ml par case ce qui donne pour une épaisseur correspondant à 0,08 g au cm² une dilution de 19 g d'eau pour 10 g de MS.

Pour Ernest 4x4

Si on fait des tests avec 0,9 ml par case on pourra utiliser une dilution de 10 de MS pour 16 d'eau ce qui conviendra à la plupart des émaux

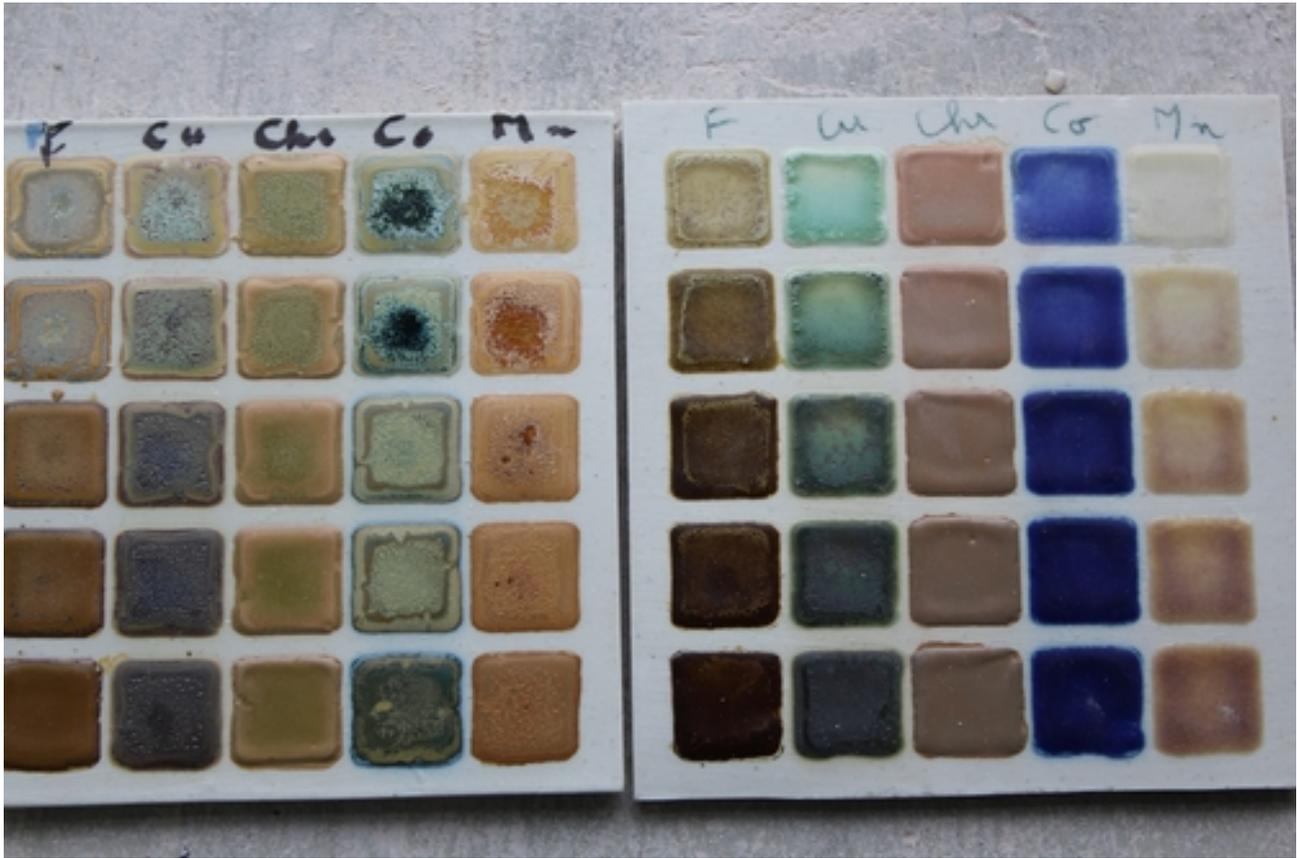


Nuancier

Autre utilisation d'Ernest: essais de couleur avec l'utilisation de compte goutte

On veut faire des essais de couleur avec de l'oxyde ou du colorant dans une glaçure donnée.

J'ai fait une video de cette méthode <https://youtu.be/NUA1c5UCCm4>



On a 5 flacons munis de bouchons avec compte-goutte dans lequel on met 10g d'eau. On ajoute du fer dans le 1, du manganèse dans le 2, du cuivre dans le 3 etc pour le fer, manganèse cuivre on mettra 0,8 g de ces oxydes, pour le cobalt 0,08 gr . On préparera une glaçure que l'on diluera comme mentionné plus haut (c'est à dire pour avoir 0,4 g par case) et on remplira nos cases avec 0,8ml d'émail. Ensuite on mettra pour la 1^{ière} colonne de notre casier 1 goutte de fer dilué dans la 1^{ère} case, 2 gouttes dans la seconde etc pareil pour la colonne2 avec le Mn etc La dilution dans nos flacons est telle que chaque goutte correspond à 1% d'oxyde sauf pour le cobalt où cela sera 1 pour 1000 (j'aime pas trop le cobalt et surtout la couleur qu'il donne). Donc au défournement il suffira de choisir la couleur qui vous sied le plus . On pourra aussi essayer des mélanges d'oxydes par exemple , 3 de Cu , 2de Co donc 3% de cuivre et 2 pour mille de cobalt pour un bleu vertBref les possibilités sont infinies mais la méthode est vraiment très rapide par rapport au pesage individuel des essais.

Utilisation d'Ernest pour les superpositions

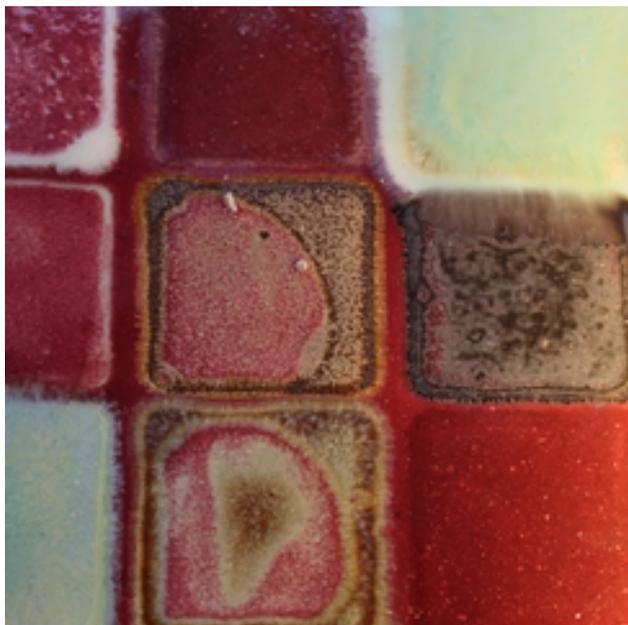
Vidéo correspondante

<https://www.youtube.com/watch?v=1XqzZRYvOzE>

Pour les superpositions on utilisera de préférence Ernest 3x3 pour avoir plus de visibilité. On remplit nos cases du 3x3 avec 9 émaux différents ou une progression et on 'imprime' plusieurs tuiles sur lequel on va poser un émail par vaporisation ou trempage. Cette méthode est assez rapide mais le résultat comme tout essai fait d'une autre manière sera à interpréter avec précaution car les épaisseurs respectives de chaque émail se fait à l'œil.



Ici l'émail blanc a été mis partiellement sur une progression d'un émail au fer



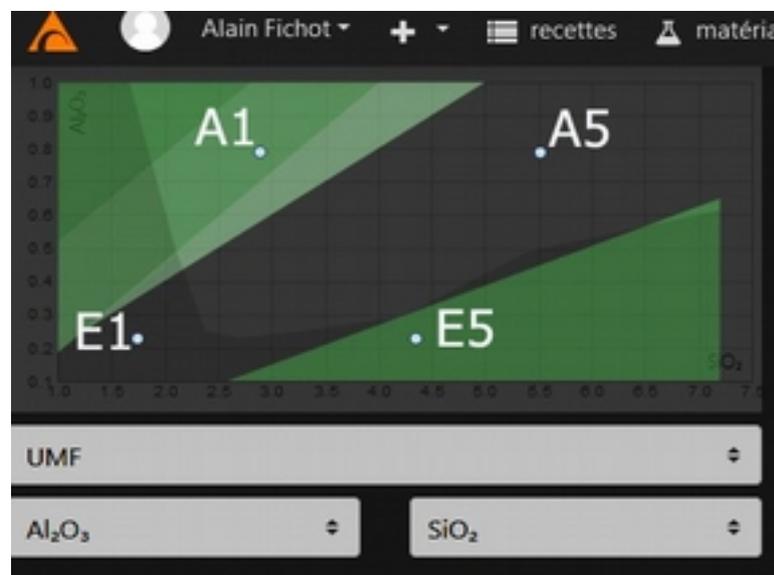
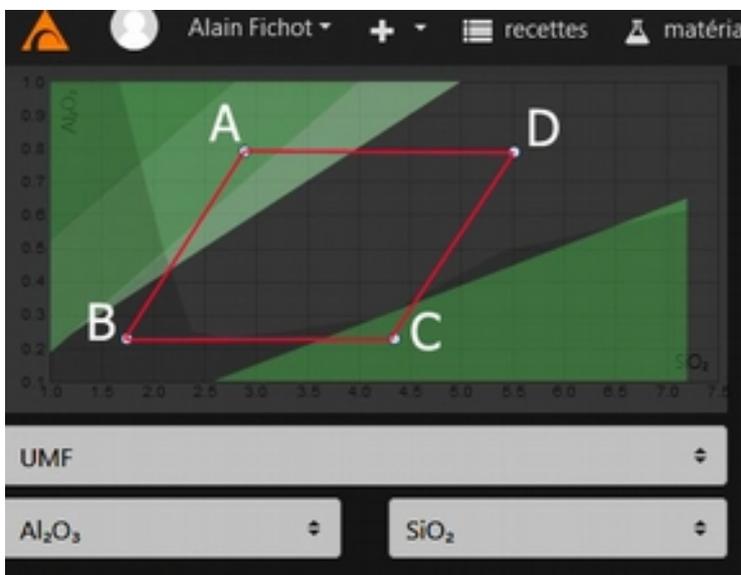
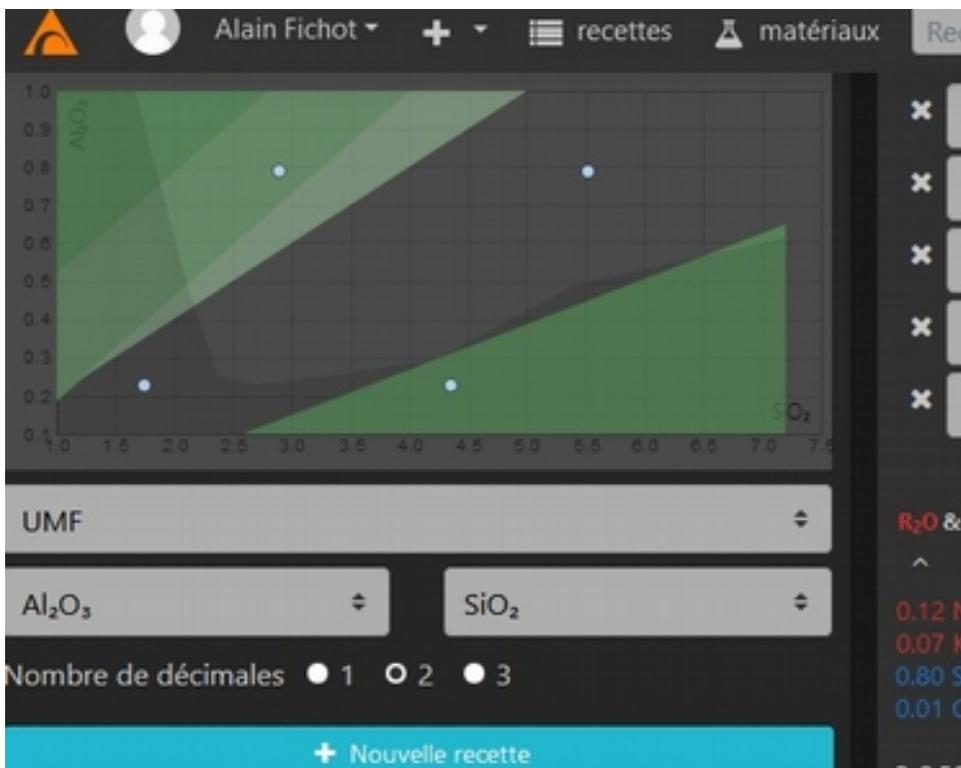
un émail rouge de chrome déposé sur différents émaux

Progression suivant deux axes : Ernest et Glazy différences et points communs.

Voici en détail une recherche avec un matériau sur lequel on veut faire une progression importante par exemple ici je voulais tester le strontium en parcourant une large zone et on va en profiter pour voir les différences de la méthode Ernest soit la méthode que j'appellerai méthode Glazy et on va le faire sur un exemple

Je vais prendre comme exemple un mélange feldspath, carbonate de strontium, silice et kaolin. Et on va rester dans le diagramme 0,2 NaKO 0,8 SrOSiliceAl₂O₃

On va calculer 4 recettes pour définir ces 4 points du diagramme qui pour Ernest seront appelés A, B, C ET D et pour Glazy A1, A5 , E1 et E5



Les 4 recettes

	Strontium	Feldspath	Silice	Kaolin
A ou A1	28	35	0	37
B ou E1	45	55	0	0
C ou E5	28	35	37	0
D ou A5	20	25	28	27

En formule molaire cela donne cela

		Al ₂ O ₃	SiO ₂	
A ou A1	0,8 SrO 0,2 NaKO	0,8	2,8	
B ou E1	0,8 SrO 0,2 NaKO	0,23	1,75	
C ou E5	0,8 SrO 0,2 NaKO	0,23	4,3	
D ou A5	0,8 SrO 0,2 NaKO	0,8	5,5	

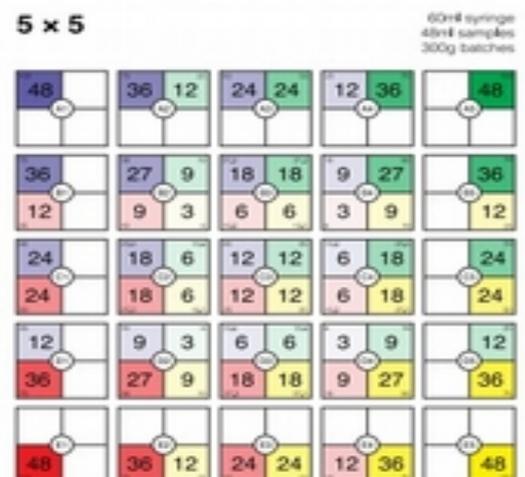
Recettes présentées ainsi sur Glazy



C'est là que la méthode Ernest diffère de celle de Glazy

Progression GLAZY

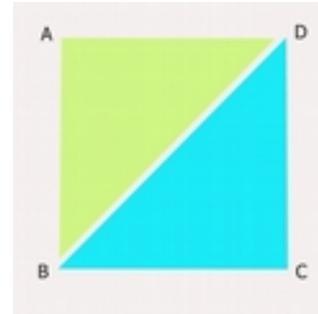
Pour faire une progression dans 2 directions, la première idée qui vient c'est de progresser de façon linéaire dans ces deux directions. Voilà ce que cela donne quand la somme de chaque case vaut 48. Si on prend une case par exemple la case de la 2^{ème} ligne 2^{ème} colonne appelée B2 on a 27 de A (A1) 9 de B (E1) 3 de C (E5) et 9 de D (A5) On voit que sur la périphérie on a un mélange de deux composants mais sur les intérieurs on a les 4 composants.



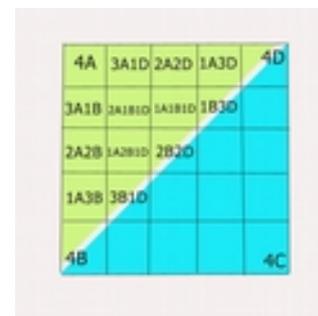
Cette solution est jolie par contre je ne l'ai pas retenue pour Ernest car de mon point de vue il y a plus simple, moins consommateur de matières et surtout plus rapide pour faire les essais.

Progression Ernest

Cette progression est basée sur le fait qu'un carré est formé de deux triangles qui auraient un côté commun et dans chaque triangle, on peut faire une progression triangulaire.



Voici la progression sur le premier triangle



Et l'ensemble donne ceci:

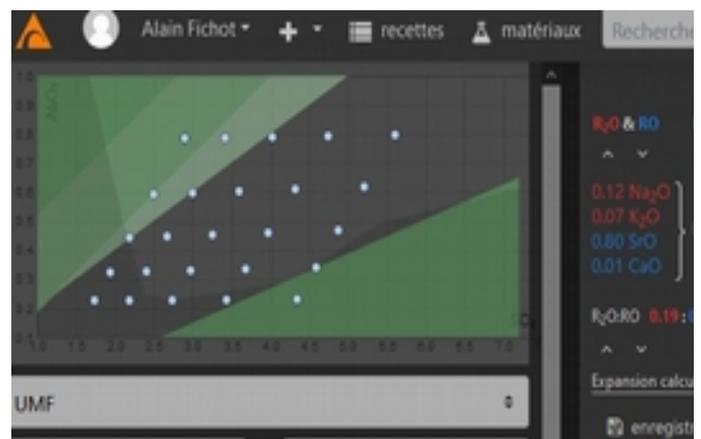
On peut remarquer qu'il y a au maximum 3 composants par cases. Pour une case donnée on mettra les composants comme indiqué. Par exemple dans la case 2A1B1D on mettra 2 doses de A, 1 de B et 1 de C

Il reste à voir si la simplicité de cette progression nuit à la recherche de l'émail de vos rêves

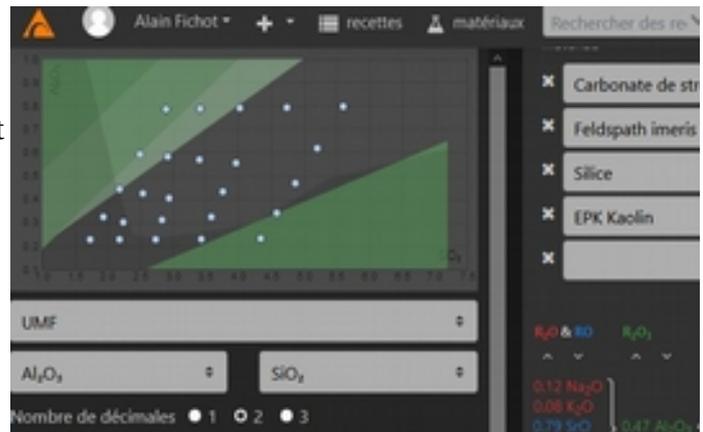


Dans Glazy en cliquant la fonction mélange biaxiale 5 lignes 5 colonnes avec les 4 recettes définies précédemment on obtient les 25 points sur le diagramme

Ces points sont répartis avec une densité qui va en diminuant de haut en bas et de gauche à droite. Glazy donne en même temps les 25 recettes et formules molaires ce qui est pratique!



Maintenant si on introduit chaque recette définie par les différents mélanges d'Ernest dans Glazy, on obtient cette répartition dans le diagramme de Stull
La différence est importante mais est-elle fondamentale?



Pour mieux visualiser un peu de couleur
Les points rouges à la périphérie sont inchangés
Les points intérieurs passent de la position bleue à la position jaune.



Utilisation d'Ernest pour faire des progressions Glazy

Pour les chercheurs d'email qui pensent que cette différence est trop importante il y a une solution pour utiliser Ernest en faisant des progressions Glazy. C'est plus long mais pas impossible
Une fois les 4 recettes pesées et diluées de la même façon (on les appellera A1, A5, E1 et E5)
On commencera par réaliser la série des A et celle des E par dosage en volume. Par exemple A4 est le mélange de 1 dose de A1 pour 3 doses de A5. Une fois que l'on a les 2 lignes de A et de E on réalisera les différentes colonnes par mélange en volume, c'est à dire dans la case d'Ernest qui est la deuxième ligne 4 ième colonne il faudra mettre B2 car comme Ernest se retourne sur la tuile ce qui est à gauche se retrouve à droite. B2 est un mélange de A2 et de E2 (3 doses de A2 et 1 dose de E2). Je pourrais fabriquer des Ernest avec les cases numérotées comme Glazy mais je trouve que le jeu n'en vaut pas la chandelle . L'inconvénient c'est que Glazy ne calcule les recettes que pour les progressions Glazy et pas encore pour les progressions Ernest.....

Résultat de cette progression



Les progressions sont assez nettes
La couleur bleue n'est pas étonnante dans ce genre de base

De mon point de vue il faudrait retravailler autour du 1A 2B 1D
Pour cela on calcule sa recette :

	Strontium	Feldspath	Silice	Kaolin
A	1x28	1x35	1x0	1x37
B	2x45	2x55	2x0	2x0
C	0x28	0x35	0x37	0x0
D	1x20	1x25	1x28	1x27
1A2B1D	138	170	28	64
1A2B1D	34,5	42,5	7	16

On peut calculer sa formule molaire si ça nous chante

0,8 SrO 0,2 K₂O 0,44Al₂O₃ 2,57 SiO₂

Pour le nouvel Ernest on pourrait varier Al₂O₃ entre 0,4 et 0,5 et SiO₂ entre 2,2 et 2,9

Au bout de 3 essais. on a la recette définitive suivante 38 de carb de strontium, 46 de feldspath, 19 de kaolin, 10 de silice et 1,5 de carb de cuivre pour avoir du bleu vert On peut mettre la recette pour 100g mais ça fait des nombres à rallonge pour un intérêt minime.

Préparation des tuiles

<https://www.youtube.com/watch?v=7AZ8RsTJjmU>

Les tuiles auront pour dimension 14,5 cm par 16 cm pour l'Ernest 3x3 et le 5x5 (pour l'Ernest 4x4 les tuiles font 11x12). Elles devront être faites avec la terre que vous utilisez habituellement . Vous pouvez les couler c'est ce qui est le plus facile. Personnellement j'en coule plusieurs à la fois sur un carreau de plâtre (genre 66x50x5cm que l'on trouve chez les marchands de matériaux) elles sont découpées quand elles ont une consistance cuir . Si vous les faites au rouleau ou à la crouteuse. Dans ce cas il convient d'effacer les traces de la toile si elles sont trop marquées). Il vaut aussi mieux les faire par plusieurs pour limiter les gauchissements éventuels et les découper quand elles sont raffermies. Pour la cuisson de biscuit vous pouvez les cuire verticalement.



Remarque sur le dosage en volume et les approximations relatives de ce mode de „pesée“

Certains lecteurs diront que j'ai tout faux car je néglige le changement de volume dû à l'ajout de matière sèche avec ma méthode dans les verres A, C et D (pour la méthode où on fait une recette de base et les autres coins d'Ernest étant fait par ajout.) Mais si cet ajout est faible, l'erreur produite est infime et en tout cas inférieure aux erreurs inhérentes à la précision relative de l'emploi de la seringue. Donc l'ajout de matière à la recette B pour avoir les recettes A et D se fera avec un maximum d'une vingtaine de % pour limiter cette erreur à des valeurs raisonnables. La précision relative de cette méthode est largement compensée par sa vitesse d'exécution. Si vous vous intéressez à cette précision sachez qu'un volume mesuré avec une seringue de 1 ml sera estimé à moins de 0,03 ml. Je vous laisse le soin de finir le calcul d'erreur et de le comparer à l'utilisation d'une balance. Je procède donc différemment que la méthode Ian Currie qui adapte l'ajout d'eau dans les godets pour avoir les mêmes volumes ce qui donne un calcul juste en théorie mais en pratique l'ajustement pour avoir les mêmes volumes est imprécis et est donc source d'erreur. Pour les pinailleurs voici le petit calcul qui justifie cette approximation. Les autres pourront passer au paragraphe suivant Soit une base B de 10 gr de matières sèches que l'on dilue avec 16 g d'eau, si on estime que la densité moyenne de nos matières sèches est de 2,5 on a le volume de B qui fait 16 ml d'eau + 10/2,5 ml de matières sèches soit 20 ml On divise ce volume en deux godets de 10 ml Dans le godet A on ajoute 20% de silice par rapport à la matière sèche qui est de 5 gr (10/2) donc on ajoute 1 gr de silice dont la densité est de 2,2 donc on ajoute un volume de silice de 1 divisé par 2,2 soit 0,45 ml on a donc un godet B qui fait 10 ml et le A 10,45 ml Si on prend 4 ml dans le godet B et 4 ml dans le godet A on aura $(5/10) \times 4$ gr de MS apporté par B et $(5/10,45) \times 4$ gr de MS apporté par B soit 3,91 gr de MS et $1/10,45 \times 4$ ce qui est égal à 0,38 gr Quand on fait le rapport qui nous intéresse c'est à dire combien on a apporté de silice à notre base $(0,38/3,91)$ en pourcentage on obtient 9,7% au lieu des 10%. On voit ainsi que l'approximation est justifiée

L'autre erreur vient du fait que que l'émail est une suspension de différents solides et non une solution et que cette suspension a tendance à plomber. Ceci est vrai mais en céramique on a toujours affaire à des suspensions et jamais à des solutions et les céramistes ont l'habitude de travailler en agitant souvent la préparation et d'ajouter des suspensifs à la préparation. De toute façon quand on fait une recherche d'émail on procède par zooms successifs ce qui fait la précision augmente au fur et à mesure que l'on s'approche de l'émail parfait.

En guise de conclusion

Ma méthode de recherche est proche d'autres méthodes comme celles de Jean Meissen qui lui „pesait“ en gouttes. La méthode au compte goutte est très rapide mais elle a le désavantage de faire des échantillons un peu petits. La méthode de Ian Currie est intéressante et elle est adaptée à une recherche systématique c'est à dire une recherche où on explore tout un diagramme. Personnellement j'essaie de limiter mon champ de recherche. Par exemple je ne cherche jamais d'émaux à moins de 1,5 mole de silice pour des raisons de stabilité mécanique et chimique de l'émail cuit. D'autre part je limite ma recherche à des émaux qui auront une bonne fusion c'est à dire que leur température de fusion théorique calculée par exemple avec [online-glaze-calculator](#) soit proche de ma température de cuisson. Pour les émaux cristallisants je limite encore plus le champ d'investigation.

La recherche d'email est un peu comme la recherche des champignons par exemple si je veux chercher des cèpes dans mon village qui fait 50 km² je peux envisager de quadriller tout le territoire de la commune en passant tous les 10 mètres. Cela fait 5000 km à parcourir... c'est beaucoup à pied. Alors j'ajoute un critère: le cèpe pousse dans les bois... tout de suite on n'a plus que 2000 km à marcher et comme je ne veux pas aller dans les forêts de Douglas, il ne me reste plus qu'à faire 500 km. On peut ajouter d'autres critères par exemple de ne pas aller dans les endroits où tout le monde va!...

Bref la recherche d'email est vaste et je vous souhaite de belles découvertes

Anost le 13 avril 2021