

Emaux “traditionnels” et émaux cristallins

ParFichot Alain

Histoire des émaux cristallins et quelques créations contemporaines	Page 1 à 6
Verre et émail	7
Structure cristalline et réseaux	8 à 10
Fusion d'un mélange de minéraux diagrammes	11 à 14
De l'émail cru à l'émail fondu	15
Essais d'émaux cristallisants, frites	16 à 20
Emaillage	21, 22
Cuisson	23 à 28
Essais dosage à la seringue	29 à 31
Coloration d'un émail	32 à 33
Réduction des émaux cristallisants	34
Formule seger	37 à 40
Utilisation d'un logiciel de calcul en ligne	41 à 45
Formule limite	46
Conclusion	47,48

Annexe

1e1

Broyage mini-jarres	49
Mesure d'épaisseur	50
Dilatation Test	51

De tout temps les céramistes ont cherché à recouvrir leur poterie d'une glaçure le plus simplement possible de façon à obtenir un résultat constant, fiable, prévisible etc. on obtient alors un émail dont la couleur ; la brillance sont uniformes sur toute la surface. Au contraire pour les émaux cristallins on cherche à obtenir une couleur hétérogène, des différences de brillance et de ce fait on accepte différentes contraintes comme celle d'une cuisson plus complexe, la contrainte due à la fluidité de l'émail et surtout une certaine instabilité dans le résultat. Mais cette instabilité doit être minimisée et c'est le but de ce stage.

Aborder le phénomène de la cristallisation demande quelques notions élémentaires de chimie sur la formation d'une glaçure céramique La composition d'une glaçure céramique est généralement plus complexe que la composition d'un verre, genre verre à bouteille, de par le fait qu'elle doit être en accord avec le tesson sur laquelle elle est posée .

Un peu d'histoire

Cristallisations et cristallisations ! Quand on parle de cristallisations de quoi parle t'on ? Si on prend un émail classique blanc mat magnésien sa blancheur et sa matité sont dues à des micro-cristallisations de silicate de magnésie. De la même façon les émaux appelés tenmoku fourrure de lièvre, aventurines etc sont obtenus grâce à des cristallines dans l'émail. Ici on ne s'occupera que de macro-cristaux, c'est-à-dire de cristaux dont la taille est dans le domaine du visible. L'histoire de ces glaçures cristallines débute à la Manufacture de Sèvres vers 1850 avec son directeur Alexandre Brogniart qui trouve qu'avec 25% d'oxyde de zinc ajouté à une glaçure alcaline on obtient des cristaux dans la phase vitreuse. On considère alors que c'est un défaut.

La recherche reprend à Sèvres en 1885 avec Clément . Ce dernier quitte Sèvres pour la Manufacture Royale de Copenhague et une production de sculpture animalière avec émaux cristallisants commence

Plus tard Clément retourne à Sèvres où il continue son travail sur les cristallisations avec une publication au congrès de Chimie en 1898 et surtout l'exposition universelle de Paris en 1900 où de très grands pots avec cette nouvelle glaçure font sensation. Puis c'est la manufacture de Meissen et Mettlach en Allemagne, Pierrefonds en France qui en produisent. La première grande vague de l'émail cristallin se termine avec la fin de l'Art Nouveau.



Pichet de Pierrefonds

Dans les années 20 une mutation s'opère et apparaît des céramistes créateurs indépendants à la fois de l'industrie céramique et de la poterie traditionnelle. On peut citer pour le renouveau de la céramique anglaise Leach aidé du japonais Hamada et pour les émaux cristallisés Wendelin Stahl, Herbert Sanders et plus récemment d'autres potiers contemporains publient des livres sur le sujet comme celui de Peter Ilesley et celui de Diane Creber. Des forums spécialisés comme celui de William Melstrom : Crystalline Glaze Forum naissent sur la grande toile.

Parmi les potiers contemporains on peut citer

Peter Ilesley, Bill Boyd, Yves Lambeau, Denis Caraty, Heins Severinjs, Jese Wiseman Hull, Werner Gnegel, Edmund Deinböck, Peter Fröhlich, Angelika et Gerd Panten, Diane Creber, Marc Uzan, Denyse Symair, William Melstrom, Jose Mariscal, Rosaria BadiciChacun ayant développé des émaux bien particuliers correspondant chacun à son esthétisme. Un émail à Tilton n'aura rien avoir à un émail à Caraty ou Uzan. Certains chercheront une douceur de ton dans les pastels, d'autres des couleurs plus vives, certains des cristaux mats bref chacun cherche, à travers son émail, une écriture qui lui est propre. Voici trois exemples



Denis Caraty



Hideaki Miyamura



Moi même

6e6

Verre et émail

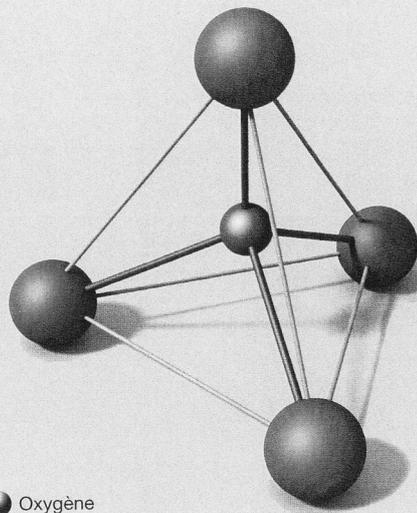
Pour un verre on cherche à obtenir une fusion de matière très liquide à base essentiellement de silice de façon à fabriquer des bouteilles , vitres etc... L'émail lui aussi est à base essentiellement de silice mais il doit recouvrir un support, pour ce qui nous intéresse en céramique. Il doit donc s'accorder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

Dans la nature la 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 cristallin il y a une cohabitation de la structure cristalline et de la structure désordonnée.

Un cristal est un solide dont les constituants (atomes ou molécules) sont assemblés de manière régulière, par opposition au solide amorphe. Par « *régulier* » on veut dire qu'un même motif est répété à l'identique un grand nombre de fois selon un réseau régulier, la plus petite partie du réseau permettant de recomposer l'empilement étant appelée une maille. Autrement dit dans un cristal les atomes sont rangés comme pour un défilé militaire en Corée du nord et dans une structure amorphe c'est plutôt l'armée gauloise dans Astérix.

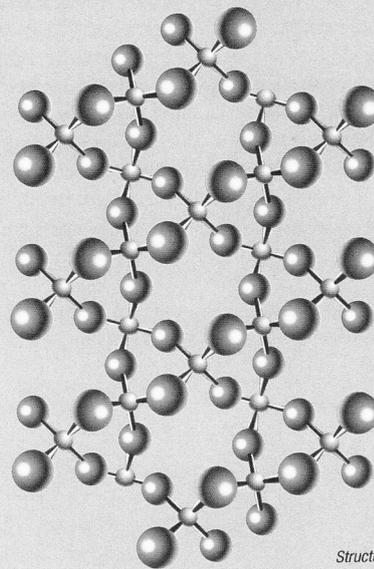
La silice est un élément très important dans la croûte terrestre, dans les roches sédimentaires dans les roches volcaniques etc L'atome de silicium Si se lie avec deux atomes d'oxygène pour donner de la silice (il lui faut deux atomes d'oxygène pour une histoire d'électrons sur la dernière couche (Si ++++ et O - -)

La silice se présente dans la nature sous forme de tétraèdre, un Si groupé avec 4 Oxygènes 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 voir page suivante, quand les tétraèdres ne sont pas rangés on a alors un verre de silice.



● Oxygène
● Silicium

Tétraèdre $(SiO_4)^{4-}$

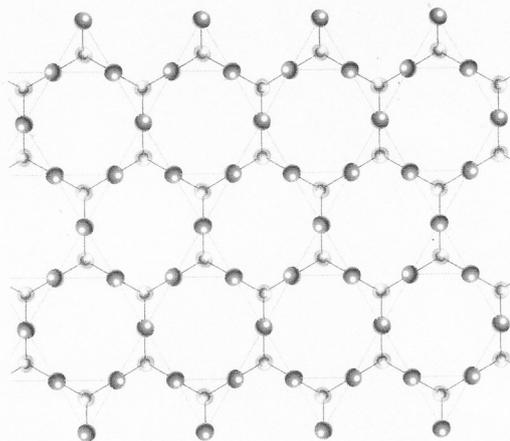


Structure du quartz.

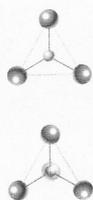
2 Les silicates

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.



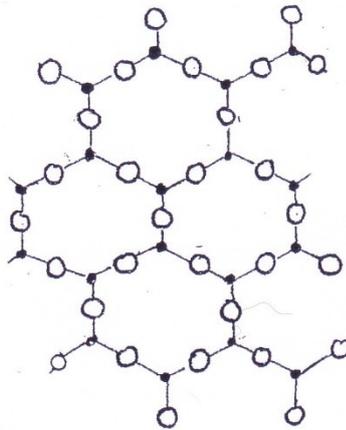
Tétraèdre SiO_4



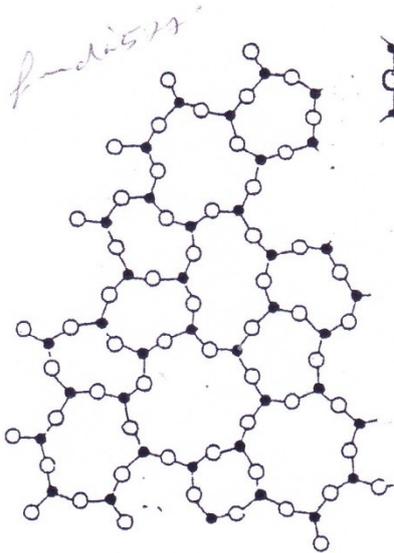
O situé au premier plan ●
O situé en arrière-plan ●
Si ●

Micas et argiles, structure d'un feuillet.

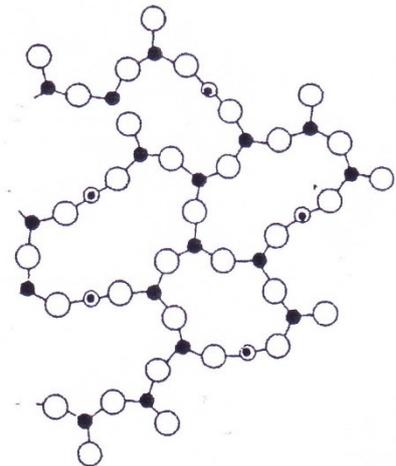
**Réseau SiO₂
Cristallisé(Quartz)**



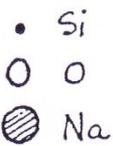
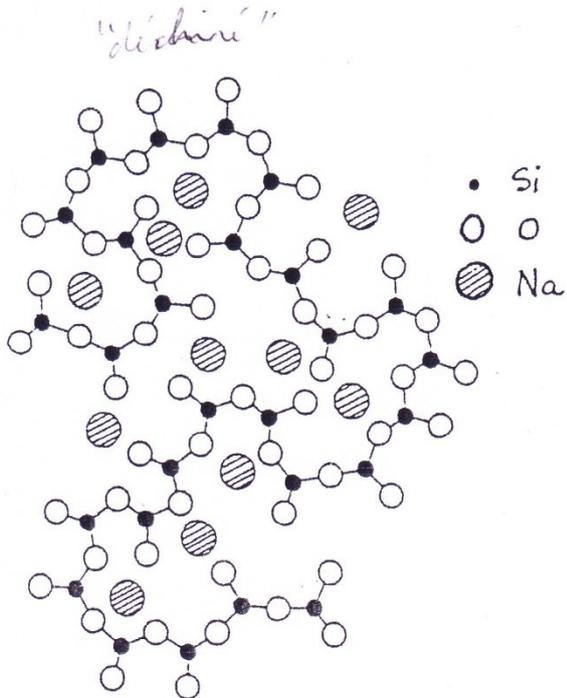
Réseau B₂O₃



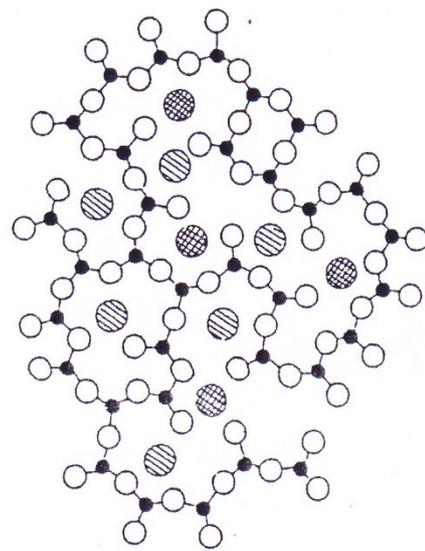
Verre SiO₂ . B₂O₃



Verre Na₂O . SiO₂



Verre CaO . Na₂O . SiO₂



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 cristallin 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. (Les atomes se déplacent dans le liquide et viennent se ranger attirés par les nucléi.)

.La manière la plus simple d'obtenir des cristallisations est d'utiliser une glaçure à très faible viscosité, riche en alcalis et pauvre en alumine, à laquelle on ajoute un surplus d'oxyde de zinc. Les cristaux ainsi obtenus et qui peuvent atteindre plusieurs centimètres, sont un silicate de zinc connu dans sa forme naturelle sous le nom de Willémite ($2\text{ZnO} \cdot \text{SiO}_2$). Pour les cristallisations mates on utilise du baryum et il se forme au refroidissement des cristaux de $\text{BaO} \cdot 2\text{SiO}_2$, $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$, $\text{MgO} \cdot 2\text{TiO}_2$

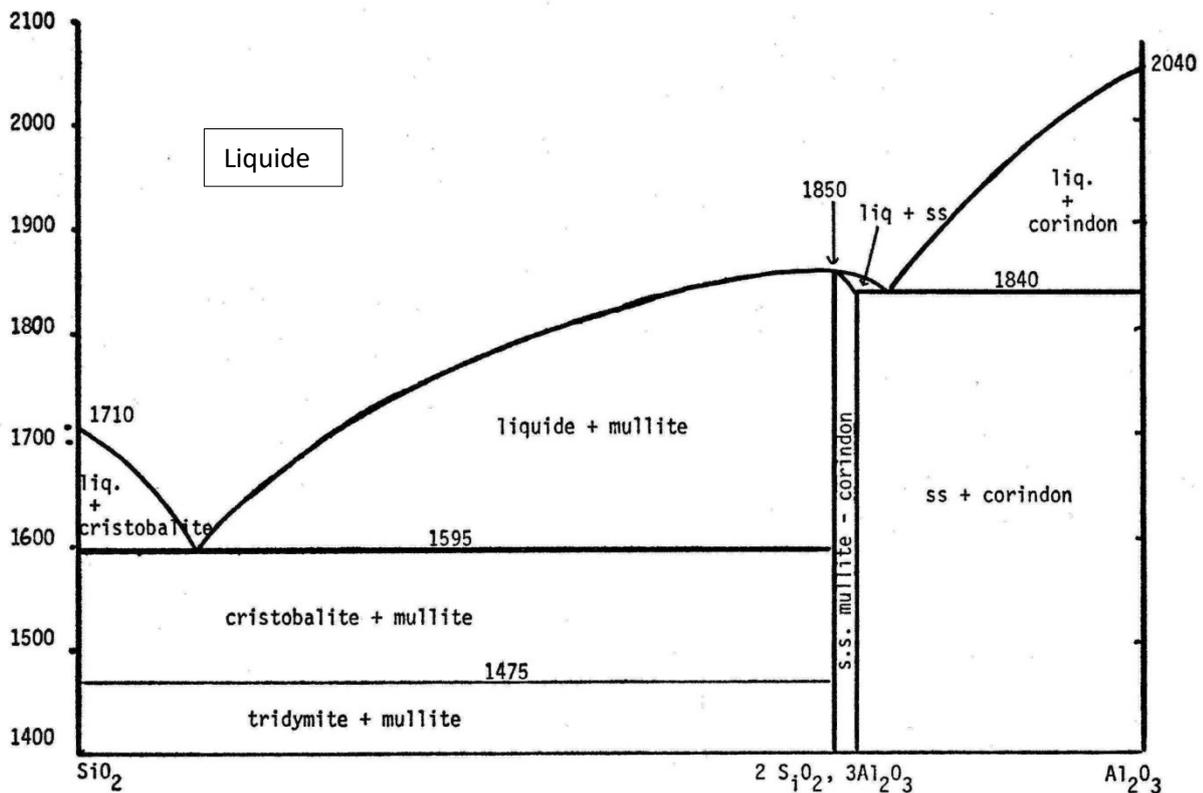
D'après Caraty le processus s'apparente à la fabrication du sel dans les marais salants. La production de fleur de sel repose sur un processus naturel de concentration en sel par évaporation de l'eau de mer jusqu'au seuil de cristallisation. Cette production s'effectue dans des marais salants et est basée sur le fait que l'eau en fonction de la température ne peut dissoudre qu'une quantité limitée de sel et donc une eau saturée en sel si la température diminue ou si le vent la fait évaporer formera alors à sa surface de la fleur de sel. Dans une glaçure cristalline où le zinc est en quantité très importante, en fin de montée en température, le zinc sera dissous dans la glaçure qui sera alors liquide. Au cours du refroidissement le zinc va se combiner avec la silice pour créer des nucléi de Zn_2SiO_4 (willémite) c'est-à-dire des micros cristaux qui captent d'autres Zn_2SiO_4 qui viennent se ranger sur les précédents pour finalement former des aiguilles de willémite. L'ensemble de ses aiguilles forment donc ce que l'on appellera le cristal, terme évidemment impropre car il s'agit d'ensemble de cristaux : le terme devrait être cristallite.

En pratique on chauffe un mélange adéquate on le transforme en liquide. Puis on descend la température on arrive alors à sa température théorique de solidification. Là très souvent en céramique il n'y a pas de transformation en solide mais on reste encore en phase liquide, on appelle cela la surfusion. C'est un état qui n'est pas stable et la moindre perturbation entraîne la solidification.

Mécanisme de fusion d'un mélange de minéraux

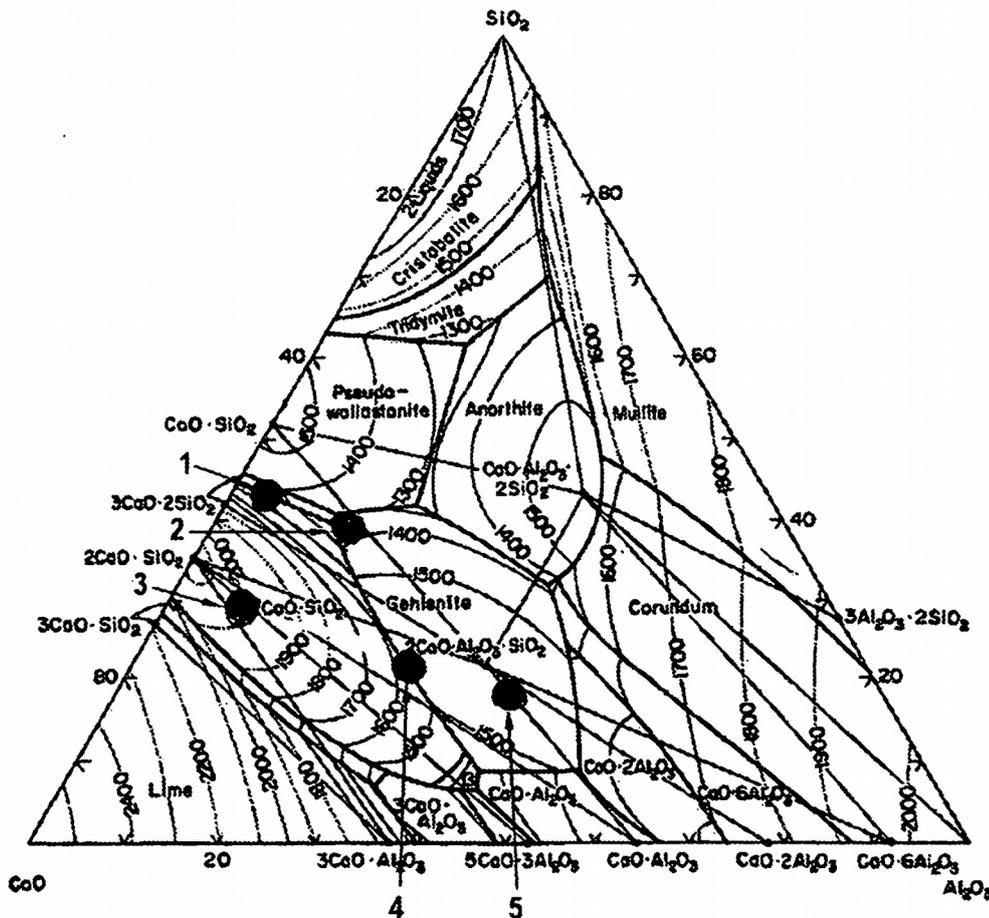
Tout d'abord examinons un diagramme binaire courant en céramique sur un exemple

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 et de même de l'alumine fondra complètement à 2040. 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>

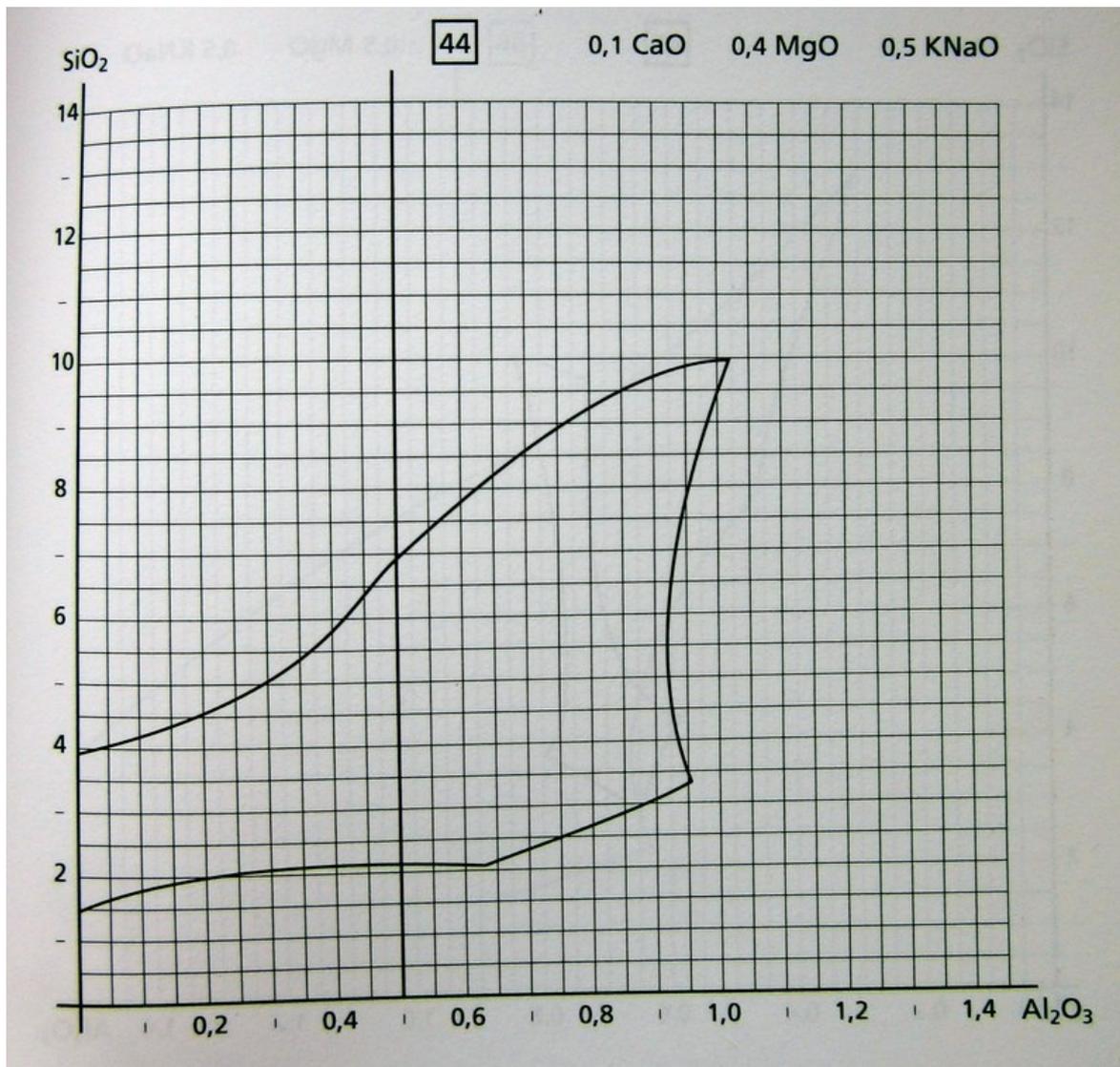
Dans cette vidéo je montre un diagramme ternaire en 3D et comment ça marche



Voilà un diagramme ternaire (ici silice chaux alumine) tel qu'il est représenté dans la littérature scientifique. C'est un peu brouillon et a 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 certain 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 arrivant à une certaine température (le point de fusion théorique de notre émail). Quand on refroidit le phénomène inverse se produit : on est liquide, arrivant à la température de fusion théorique on commence à avoir un solide qui se forme dans le liquide, puis à la

pas d'une grande utilité dans le domaine des cristallisations car les émaux qui nous intéressent contiennent du zinc, du baryum ou du lithium, éléments absents de son domaine de recherche c'est dommage pour nous. !

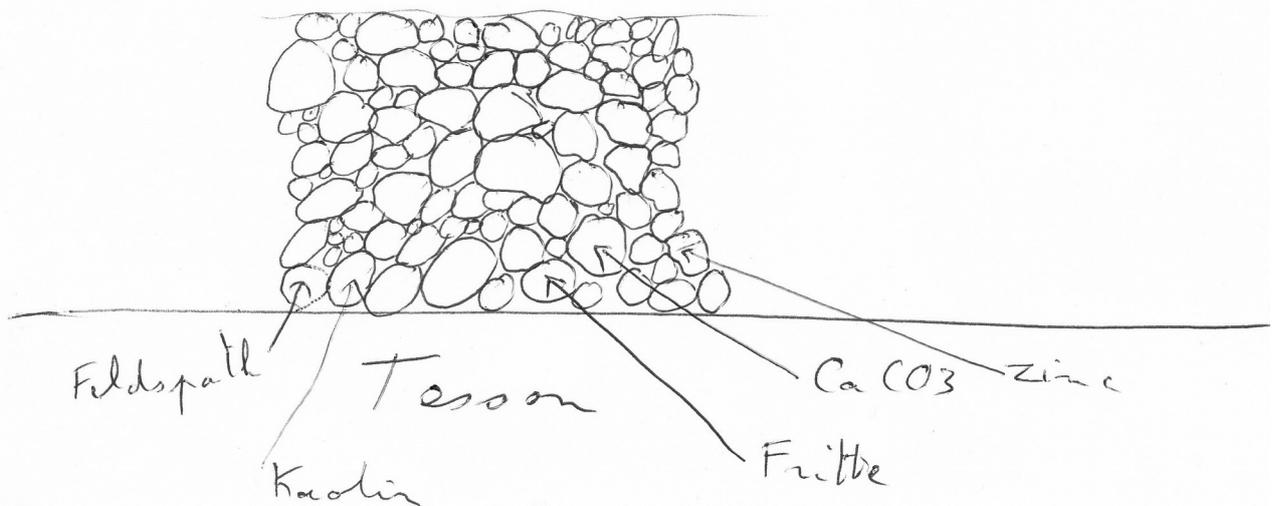


exemple de diagramme de De Montmollin

De l'émail cru à l'émail fondu

Un émail est au départ un ensemble de petits grains de matières différentes qui forment une couche d'une certaine épaisseur sur un tesson. Ces grains plus ou moins gros sont en contact entre eux. Par exemple un grain de chaux sera en contact avec un grain de kaolin. Si on n'a que ces deux grains là il y aura un commencement de fusion à 1170°C. Mais on n'a pas que ces deux éléments il peut y avoir une fritte qui commencera à fondre beaucoup plus tôt et qui mouillera les grains situés autour d'elle. Il y aura aussi des carbonates (par exemple de la chaux CaCO_3) qui perdront leur CO_2 (décarbonatation) idem pour le carbonate de baryum, les nitrates etc

Le dégazage des matériaux s'il se fait à une température où l'émail est déjà liquide peut poser des problèmes (bulles dans l'émail) idem pour le dégazage éventuel du tesson. D'autre part il est évident que si on a un grain trop gros d'un matériau qui a une température de fusion assez haute il restera en partie infondu dans l'émail car il n'aura pas le temps d'être "mangé" par le liquide qui l'entoure. L'apport de bore dans un émail aide fortement à la fusion non seulement il fond très tôt mais sa tension superficielle fait qu'il mouille plus facilement ce qui l'entoure. Un broyage plus fin favorise aussi la fusion



Premiers essais d'émaux cristallisants

Dans ce stage nous allons essayer de réaliser quelques essais d'émaux cristallins brillants et des essais de cristallisation mat. Ces premiers essais seront réalisés en début de stage. J'ai choisi une température de cuisson de 1260° suivant la courbe A voir annexe. Comme les appareils de mesure sont toujours différents on placera un cône pyrométrique Seger n°7 dans le four et au vu de son état de fusion on ajustera la programmation pour la 2^{ème} cuisson.

Les essais seront faits à partir de recettes publiées par mes collègues et mes propres recettes J'en ai transformé certaines pour les adapter à la température de cuisson. Pour se mettre dans les conditions du céramiste qui veut aborder le sujet et qui pense que la recette publiée sur le net est obligatoirement une recette qui donnera des résultats intéressants sans trop se fatiguer à des recherches fastidieuses, j'en ai laissé certaines telles quelles

Les matériaux utilisés sont des matériaux courants utilisés dans un atelier céramique (Feldspath potassique (orthose), Chaux , Silice , Kaolin, Bentonite, Talc, Carbonate de baryum, Oxyde de Zinc (pour celui-ci il faut prendre certaine précaution voir plus loin) Carbonate de lithium, Spodumène, Titane, Dolomie, Carbonate de strontium ; les oxydes colorants cuivre, cobalt, fer et nickel) . A la différence des autre émaux céramiques on utilise très souvent des "frittes" pour élaborer les émaux cristallins. Nous utiliserons au cours de ce stage les frittes suivantes

C 1252 Ceradel

Designation Fritte borocalcique sans plomb

0,18 NaKO 0,41 Al₂O₃ 2,2 SiO₂
0,82 CaO 0,98 B₂O₃

C 1253 Ceradel

Designation Fritte boro-alcaline sans plomb

0,65 Na₂O 0,19 Al₂O₃ 2,5 SiO₂
0,21 CaO 0,94 B₂O₃
0,08 ZnO
0,05 BaO

C 1254 ceradel

Designation Fritte calco-alcaline sans plomb

0,50 Na₂O 0,20 Al₂O₃ 2 SiO₂
0,50 CaO 1,10 B₂O₃

16e
16

CRA prodesco anciennement commercialisée par Solargil sous le nom FR5, cette fritte qui n'est plus fabriquée

0,168 Na₂O 0.208 K₂O 0.168MgO 0.45ZnO 0 Al₂O₃ 1.096 SiO₂

3110 nouvellement commercialisée par Solargil sous le nom FR5 fabriquée par Ferro.

K ₂ O	0.064	Al ₂ O ₃	0.095	SiO ₂	3.003
Na ₂ O	0.644	B ₂ O ₃	0.097		
CaO	0.293				

Frit F644 fabriquée par Fusion

1 Na₂O 0.123 Al₂O₃ 2.265 SiO₂

PR17 ceci n'est pas une fritte mais une fritte avec comme ajout de kaolin
Distribué par Solargil officiellement un émail satiné transparent à 980°C

0,176 Na ₂ O	0,075 Al ₂ O ₃	1.09 SiO ₂
0,184 CaO	0.1 B ₂ O ₃	
0,554 ZnO		
0,078 BaO		
0.003 SrO		
0.004 K ₂ O		

Poudre de verre

Commercialisée par Ceradel de formule moléculaire

0.44 Na₂O 2.28 SiO₂

0.33 CaO

0.23 MgO

Et une fritte toute nouvelle pour moi une fritte qui est commercialisée par Carl Jäger

FM 77355

0,1 K₂O 0.9 ZnO 0,1 Al₂O₃ 0.8 SiO₂

Pourquoi utiliser des frites

Certains matériaux sont solubles dans l'eau. Si on les utilisait dans un émail ceux-ci passeraient en partie dans le tesson (qui est poreux) ce qui modifierait à la fois la composition du tesson et la composition de l'émail dans lequel on aurait mis ces matériaux solubles. D'autres matériaux ne sont pas très bons pour l'environnement et pour l'homme (plomb, baryum) on préfère les utiliser sous forme silicatisée. Les frites sont très utilisées dans l'industrie céramique ... Pour faire des frites on mélange à sec les différents matériaux que l'on veut fritter. On fait fondre ce mélange dans un creuset, le creuset est sorti du four et le verre fondu est versé dans l'eau. Le choc thermique fait éclater la fritte en petits morceaux. Ensuite on broie cette fritte. On peut en faire des petites quantités en mettant dans une forme plate, engobée d'une couche de quartz, le mélange voulu. Après cuisson la fritte est séparée du quartz qui y aura adhéré et broyée dans une jarre. Une autre

technique est d'utiliser un four dédié à cette fabrication dans lequel est placé un creuset avec un trou au fond. Ce trou correspond à un trou dans le four ce qui permet quand le mélange est fondu de s'écouler hors du four la fritte tombe alors directement dans l'eau en se divisant en un granulat qui est là aussi broyé. La dernière méthode quoique efficace est quand même un peu longue. Il est toutefois intéressant de voir comment des matériaux fondent, comment ils se comportent au niveau de leur consistance quand ils fondent etc....

. Des frites de toutes sortes de composition sont commercialisées. Le site de P Moutereau donne leurs compositions pour les frites courantes françaises

<http://pmoutereau.free.fr/frites/frites.html>

Le site Digital Fire est plus complet

<https://digitalfire.com/4sight/material/>

Préparation des essais

La préparation se fera sur 15-20 grammes cette quantité est suffisante pour passer l'émail sur les échantillons. L'émail sera dilué dans la même quantité d'eau et tamisé si nécessaire. On émaillera deux tessons pour chaque essai en faisant varier l'épaisseur sur chaque tesson. Cet émaillage se fera au pinceau. Il convient de prendre un pinceau de largeur de 2 à 3cm de bonne qualité, avec une brosse bas de gamme à peinture on ne peut pas avoir une épaisseur d'émail régulière. J'ai fait 22 fiches (2 par personne) Certaines fiches ne mentionnent pas d'oxyde colorant. Il conviendra d'ajouter ou 1% de cuivre ou 2% de fer ou 0.5% de cobalt ou 0.3% de nickel ceci pour mieux voir les cristaux. Sur chaque fiche on portera la recette réellement pesée, un tableau à remplir plus tard où on notera la formule moléculaire correspondante. On pourra y mentionner ensuite le résultat de l'essai (pas cuit, nul, trop fusible, absence de cristaux, cristaux trop nombreux, correct mais trop brillant ou magnifique il n'y a rien à changer, cette dernière hypothèse étant fort improbable). On va essayer si les moyens informatiques le permettent de mettre en commun ces fiches en les complétant par les photos des essais.

Exemple de fiche

Recette AF3

FR5 CRA prodesco	30
Silice	1.5
Bentonite	1.5
Titane	2.4

Formule moléculaire

Température de fusion 1135

MgO	0.174	Al ₂ O ₃	0.009
CaO	0.005	B ₂ O ₃	
SrO		Fe ₂ O ₃	0.002
ZnO	0.447		
Li ₂ O	1.251		
BaO			
PbO			
Na ₂ O	0.169		
K ₂ O	0.205		
SiO ₂			
TiO ₂	0.137		
SnO ₂			

Quelques remarques sur ces essais

Mes choix en matière d'émail cristallin se sont portés dès le début de mes recherches sur des émaux élaborés à partir de frites et en particulier la fritte CRA de chez Prodesco. (Cette fritte n'est plus commercialisée mais j'ai acheté le stock restant disponible) Pourquoi ce choix? On a vu que pour faire un émail cristallin il fallait porter un mélange assez haut en température de façon à fondre entièrement le mélange. Autrement il reste des particules non fondues et ces particules

nuisent à la cristallisation . D'autre part plus on monte haut en température plus l'émail coule. Le remède théoriquement est d'utiliser une fritte dont la composition est aussi proche de l'émail souhaité que possible car le mélange est en quelque sorte profond. Il a besoin de monter beaucoup moins haut pour fondre donc il coulera moins. La fritte CRA contenant du zinc, ne contenant pas d'alumine et pas trop de silice convenait à priori parfaitement pour l'élaboration d'émail cristallisant. Si on regarde la formule Seger de cette fritte on voit que l'on n'a que 1.09 de silice ce qui est trop faible. Donc l'ajout de silice s'impose. A l'utilisation une recette contenant exclusivement de la fritte plombe énormément dans le bain, il convient donc d'ajouter de la bentonite. Ensuite j'ajoute un peu de titane car pour des raisons personnelles j'aime bien les émaux cristallins qui contiennent ce matériau (émail en général moins brillant et plus opaque) J'ai fait ce choix d'utiliser des frites, d'autres préfèrent l'utilisation de feldspath : il reste encore un peu de liberté chez les cristalliseurs....

Dans les recettes sur lequel nous allons travailler, on voit qu'il y en a beaucoup qui contiennent la fritte 3110. Cette fritte n'est pourtant pas particulièrement adaptée aux émaux cristallisants, elle n'est pas non plus pire qu'une autre. Mais on la retrouve très souvent car beaucoup de céramistes partent au début de leur recherche avec la recette d'un collègue qui lui-même avait copié...donc cette fritte fait en quelque sorte le buzz. Il sera intéressant pour vous de choisir votre propre fritte afin de ne pas être tenté de faire des recettes recopiées sur les collègues un peu d'originalité ne nuit pas. Par exemple Carl Jager distribue une fritte dont la composition est très intéressante pour nos besoins.

Dans ces essais quelques-uns sont des mats au baryum réputés difficiles à réaliser

Voilà ce qu'en dit John Tilton

Matte Crystalline Pieces par John Tilton traduction google !!!

Les pièces des pots les plus difficiles et exigeantes que je l'ai jamais fait sont les cristal mat ceux de porcelaine. Même après vingt ans de la poursuite incessante de l'expérimentation et avec eux, les émaux mat cristallines continuent à me soustraire, refusant de céder tout type de performance constante. Une pièce peut en prendre autant que d'une douzaine de tirs (cuissons) à être remplis ou détruits (environ un an de tirs pour moi). Ils ne répondent pas à la logique. Néanmoins, je les aime et ne peux pas arrêter de travailler avec eux, et je l'ai été en mesure de résoudre un certain nombre de problèmes qui leur sont associés.

Mon processus de vitrage(émaillage) est d'appliquer d'abord glaçure à l'intérieur, puis appliquez la cire résister à l'intérieur de la pièce (si je serai plongeant l'extérieur) de sorte que le vernis à l'extérieur ne sera pas chevaucher l'intérieur. Pour le premier tir, je trempe habituellement l'extérieur, en utilisant un outil construit à partir d'un magasin de fournitures de plomberie (lire).

Un problème majeur avec cristallins de matage est le fait que toutes les imperfections dans la surface de l'émail seront amplifiés dans la pièce finale. Qu'est-ce que je vise est une surface qui ne montre pas les marques de processus (par exemple, les lignes formées dans la glaçure en versant, le trempage, ou pulvérisation, ou des traces de doigts dans la glaçure) si dans les premiers jours de mon expérimentation cristalline, je a été frustré par l'application de vernis ainsi que la formulation. Mon expérience Eureka est venu tout en surfant sur un magasin d'alimentation de plomberie, un jour, quand je découvris douilles Fern-Co. Je pouvais, l'utilisation de ces bagues, des inserts en aluminium, et une pompe à vide, pour développer un système qui m'a permis de tenir un pot par son pied en utilisant un vide. La beauté de cette méthode est qu'elle élimine les traces de processus. Je ne dois pas toucher la surface du pot tremper dans l'émail; il est maintenu par le vide à cet ensemble d'outils interchangeables.

Une fois que le pot a été plongé dans la glaçure, je mesure l'épaisseur de l'émail sur la pièce et ajuste en conséquence. Cela nous amène à un autre problème majeur qui a été résolu par une autre pièce d'équipement, le micromètre glaçure.

Je me suis rendu, par essais et erreurs, que mes émaux étaient sensibles à des épaisseurs de un millième de pouce (0.0254mm), et que, pour la pièce pour avoir une chance de succès, le vernis doit être appliqué à l'intérieur de trois millièmes de pouce de l'idéal. Je amincie les glaçures, mais besoin d'un outil pour mesurer l'épaisseur de l'émail cru sur le pot. Eyeballing la glaçure était pas suffisamment précise, ni se grattait à travers le émail cru avec un pintool ou en utilisant l'une des jauges de profondeur d'épaisseur couramment disponibles. Enfin, une jauge I modifié Starrett très sensible pour mesurer l'épaisseur de la surface de l'émail à l'intérieur d'un demi-millième de pouce. Cet outil est probablement la plus précieuse dans mon studio, et je l'utilise chaque fois que je glaçure.

Après vitrage les pièces sont chargées dans le four. La mise en place des pots dans le four a une grande influence leur résultat final. Je l'ai appris que certaines parties du four sont meilleures pour certains émaux. Une grande partie de la variation a à voir avec l'atmosphère. Je tire dans une atmosphère réductrice, et la flamme flux et reflux d'une manière liquide autour des pots dans le four; il persiste et les piscines dans certains endroits plus que dans d'autres. Chauffage et refroidissement varie également dans les différentes parties du four. Certains émaux aiment être tiré plus chaud ou refroidir plus lentement que les autres, et je ai trouvé dans mon four endroits pour mettre des pots avec ces émaux.

Donc il peut paraître présomptueux d'essayer de faire ce genre d'émaux au cours d'un stage ! Surtout que la mesure à 20 microns près est loin d'être évidente quand on utilise des matériaux qui selon leur fiche technique sont broyés à environ 10 microns (mais plus exactement les grains sont majoritairement autour de 10 microns mais sont en réalité entre 0 et 30 microns) Un exemple de fiche technique donnée par un fabricant est mis en annexe (annexe 1)

D'autre part la méthode employée par Heins Severijns ou Yves Lambeau, autres spécialistes de cet émail est très délicate (superposition de plusieurs recettes différentes) peut, elle aussi, décourager des débutants (voir annexe) mais, évidemment, ne nous découragera pas le moins du monde....surtout quand on voit comment certains céramistes comme Phil Morgan (voir vidéo The secret to crystalline glazing) émaille

Emallage

Je pratique en général l'émaillage de mes pièces par immersion ou à la louche. On a vu que l'épaisseur d'un émail cru influe beaucoup sur le résultat. Sans être aussi pointilleux que John Tilton qui mesure son épaisseur avec une précision de moins de 3 microns il convient toutefois de contrôler son épaisseur. Pour avoir des résultats qui puissent se répéter il convient de vérifier la "densité" de son émail. Pour ce faire je remplis une canette de bière d'émail à ras bord que je pèse et je sais par expérience que, par exemple, l'émail brillant que j'utilise le plus fréquemment doit être à 543g. Ceci dépend évidemment de la recette, de la bouteille etc Il est à noter qu'il faut prendre toujours la même bouteille car même avec la même marque de bière, les bouteilles ne font pas toutes le même poids. Je trouve cette méthode plus pratique que l'utilisation d'un densimètre beaucoup trop fragile à mon gout et cette méthode est finalement aussi précise.

J'ai mis le mot densité entre guillemets car on ne mesure pas ainsi une densité. La densité serait le poids de la canette pleine d'émail moins le poids de la canette vide divisé par le poids de la canette pleine d'eau moins le poids de la canette vide. Pour les puristes remplacez le mot poids par masse et mettez de l'eau pure à 4°C !!!

Je montrerai au cours de ce stage l'utilisation d'un outil de ma fabrication qui permet d'estimer l'épaisseur de l'émail cru. Voir annexe

On verra l'émaillage de pièces au trempé et à la louche. Et quelques astuces permettant de diminuer l'épaisseur localement sur la pièce (par exemple au pied). On verra aussi l'émaillage au pistolet qui convient peut-être plus pour émailler que quelques pièces. Pour émailler confortablement au trempé, il est nécessaire d'avoir un bain d'émail contenant au moins 4 kg d'émail pour des pièces de taille moyenne. L'émaillage est toujours délicat et c'est de loin le principal problème des émaux cristallisants.

Certains confrères implantent les cristaux dans l'émail cristallin brillant. Pour moi c'est une pratique bizarre : quand on cherche des émaux cristallins c'est qu'on aime le côté aléatoire de ces émaux, implanter des cristaux me paraît antinomique avec cette recherche. Je mentionnerai différentes méthodes utilisées pour ces "implants"

Barbotine d'émail

En général on utilise de l'eau pour faire une barbotine d'émail. C'est-à-dire que l'on ajoute de l'eau à notre poudre jusqu'à la densité voulue pour avoir une bonne épaisseur pour le trempé. (J'ai lu que des potiers utilisent de l'eau de pluie plutôt que l'eau du robinet ; personnellement je n'ai jamais essayé de savoir si la Cristalline convenait mieux aux émaux cristallisants que l'eau d'Evian...) Avec les émaux cristallisants qui contiennent très peu de kaolin ou pas du tout et beaucoup de frites, ces dernières ont tendance à plomber ce qui oblige à remuer le bain en permanence. L'objet émaillé peut aussi être poudreux ce qui rend la manipulation délicate. Pour remédier à ces inconvénients on peut ajouter des matériaux qui disparaîtront à la cuisson mais qui vont modifier le comportement rhéologique du bain et son adhérence une fois sec. De plus certains potiers cuisent le biscuit à une température plus haute que les 1000°C habituels (ceci pour éviter après le biscuit (donc à la cuisson d'émail) des dégazages intempestifs) Hein Séverinjs biscuite à 1100°C, la Manufacture de Furstemberg biscuite à 1400°C <http://www.fuerstenberg-porzellan.com/> l'émaillage devient problématique ! Un mélange d'additifs judicieux peut permettre de mettre beaucoup moins d'eau dans la barbotine d'émail. Sans additif on a à peu près 1 litre d'eau pour un kg de poudre. Avec additif on peut descendre à 0.6 l par kg !

On pourra lire avec beaucoup d'intérêt ce qu'en dit Denis Caraty (publié sous forme de feuilletton sur céramique .com) que j'ai compilé et que vous avez en pièce jointe ou ce qu'en dit Heins Severinjs dans son document de stage "Dialogue Bleu". En résumé on cherche à modifier le comportement de la barbotine d'émail sur le plan de sa viscosité, de sa sédimentation, de sa tyxotropie, de son adhérence sur le tesson et de sa conservation dans le temps. Pour ce faire il convient donc de lui ajouter du défloculant, du suspensif, de la colle et de l'antiferment. On peut utiliser la recette suivante avec les produits de Solargil :

10 gr de Dolaflox B 10gr de colle à émail 5 gr de suspensif 5 gr de Peptapon
3gr d'antiferment 2.5gr de Dolapix que l'on dilue dans 500 gr d'eau.

Ce mélange est un concentré valable pour 6 kg de matières sèches.

Il est intéressant de préparer ce mélange à l'avance. Ensuite si on prépare 130gr d'émail on prendra 130 divisé par 6000 multiplié par 500 soit environ 11gr de mélange ou 11 cc si on prend le mélange à la seringue.

Cela peut paraître complexe de mettre toute cette liste de produits pour faire une barbotine d'émail mais cela améliore considérablement l'émaillage.

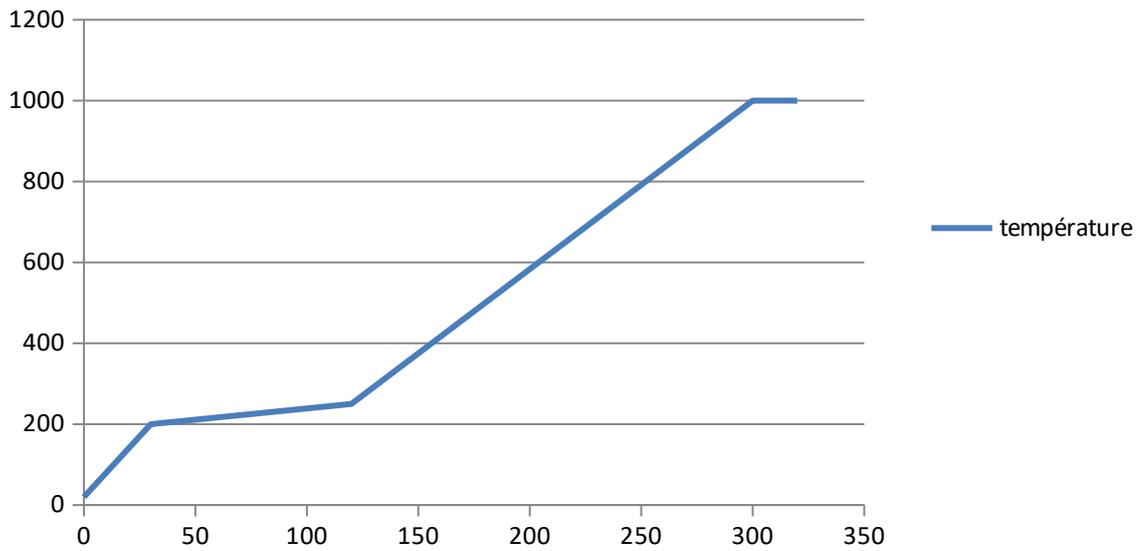
Cuisson

Courbes de cuisson

Biscuit

Le principe est de monter en température aussi vite que possible sans casser ni les pièces ni le matériel d'enfournement (ceci dans un but d'économie d'énergie). Faire un palier en fin de cuisson pour uniformiser la température du four. Evidemment 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 une heure et 3 heures suivant que le biscuit est sec ou pas et qu'il est plus ou moins épais. Il est important de cuire le biscuit toujours à la même température de façon qu'il soit toujours à la même porosité ce qui facilite l'émaillage car avec la même porosité et la même densité du bain d'émail doit donner, avec le même geste au trempage, la même épaisseur d'émail cru

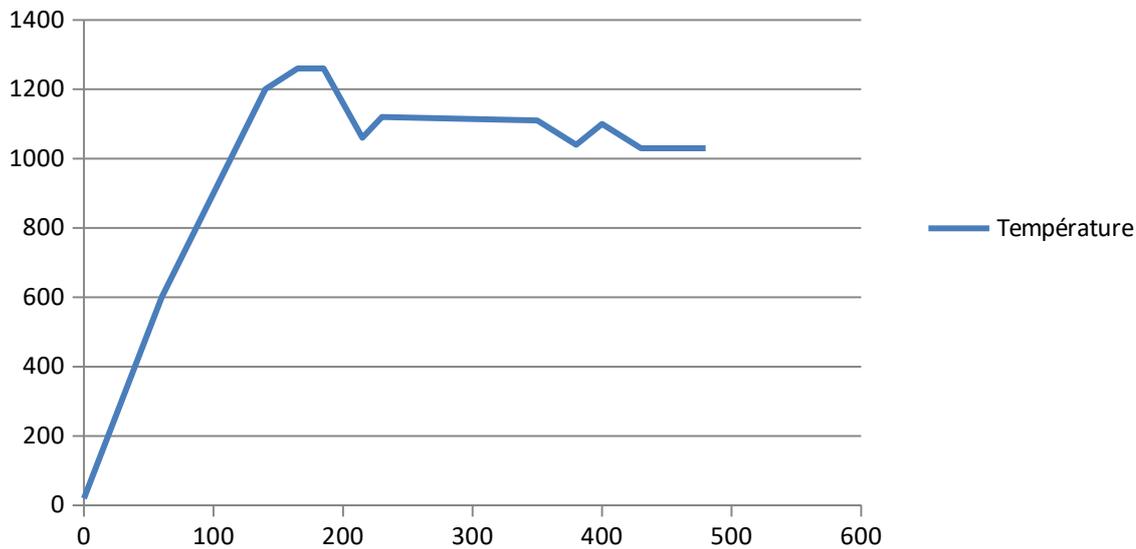
température



Cuisson émail

Voici la courbe que j'emploie quand je cuis au gaz (y en°C, x en minutes)

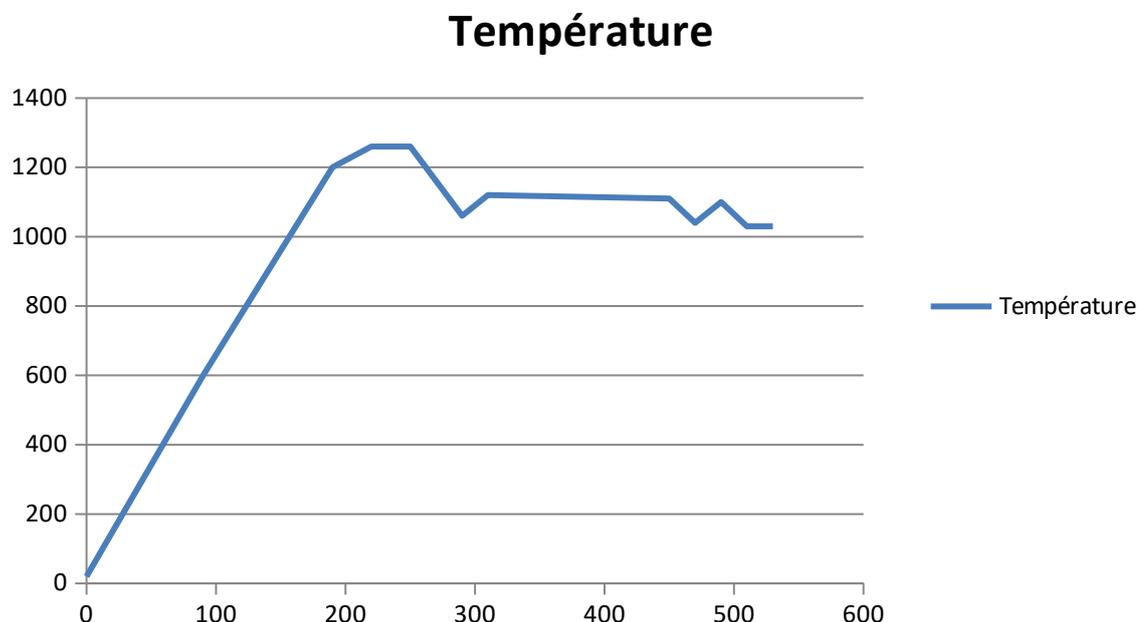
Température



Le four électrique que j'utilise ne permet pas de monter à cette vitesse (600°/heure) donc toute la montée en est considérablement ralentie. De plus quand il m'arrive de recuire des

pièces, elles sont alors beaucoup plus fragiles qu'un biscuit, il faut réduire la vitesse de montée, elle se fait alors à 200°/h jusqu'à 700°C

Voici la courbe que le four à notre disposition va suivre tout au moins ce que l'on va lui programmer !



On ne va pas faire une cuisson avec des très grands paliers de cristallisation car le four devra être défourné pour faire la deuxième série d'essais le lendemain et le but n'est pas d'établir des records de taille de cristaux mais de réaliser des essais.

Vous trouverez sur la grande toile toutes sortes de courbes de cuisson pour cristallisation par exemple http://ceramique-cristaux.voila.net/page_glacures2.htm

Vous trouverez aussi des recommandations dont je n'ai jamais vérifié le bien fondé par exemple de cuire très peu de pièces dans le four ce qui permet de redescendre plus vite après la fin de la montée au moment où l'émail est très fluide. Ceci permettrait de le "figer" et donc il devrait moins couler dans le catcher. Après essais c'est peu probant ! Certains céramistes équipent leur four électrique d'un ventilateur pour faire chuter la température plus vite.

L'important est de faire des paliers de cristallisation environ 150°C sous la température de cuisson. En général si on fait un palier assez haut par exemple 1120°C on aura tendance à avoir des cristaux plus géométriques (bâtonnets, haches) A 1090° les cristaux seront plus ronds mais ceci devra être sujet à essais. On va faire, avant les paliers de cristallisation une descente à 1060 ceci par habitude pour moi Si on entame directement les paliers de cristallisation le résultat est peu différent. Ceci semble montrer que la nucléation se fait

plutôt sur des infondus dans le liquide plutôt que comme une nucléation dans un liquide homogène comme il est souvent expliqué en se référant au graphique de la page 40 du livre de Jouenne)

On va mettre dans le four des montres fusibles pour vérifier le degré de cuisson on cuira à cône 7 (cône orton)

Montres seger Il s'agit de petites pyramides qui sont faites à partir d'un mélange de minéraux et qui se courbent à un degré de cuisson donné. Il est intéressant de noter que leur tombée dépend à la fois de la température de cuisson mais aussi de la vitesse de montée en température. Il est bon d'en mettre toujours une dans le four afin de ne pas se fier uniquement à l'automatisme. On peut aussi en mettant plusieurs vérifier l'homogénéité d'un four.

Enfournement

Le premier article que j'ai lu sur la cristallisation était en anglais et il préconisait de laisser 6 pouces entre les pièces soit une quinzaine de cm. Je n'ai jamais suivi ce conseil ! Par contre il préconisait de cuire les pièces sur socle et là j'ai suivi leur conseil !

L'émail étant plus ou moins fluide a la fâcheuse² tendance à se répandre sur la plaque d'enfournement et il est désagréable de défou²ner au marteau. Pour palier à cet inconvénient on utilise, dans le cas des pièces tournées, des anneaux de la même matière que la pièce. Ces anneaux feront entre 1 et 2 cm de hauteur et seront affinés au-dessus. Ils se mettront sous le pied de la pièce à environ 2 mm à l'intérieur de celui-ci. Pour les réaliser il est rapide de tourner un cône d'une quinzaine de cm et quand celui-ci a séché consistance cuir de réaliser les anneaux en tournassant le dessus et coupant 1.5 cm plus bas. L'anneau posé dans une petite assiette à l'enfournement sert de base à la pièce. Pour

les pièces moulées il convient de faire un moule du support adapté au modèle par exemple support pour vase rectangulaire. Personnellement mes formes sont souvent réalisées sur des bases moulées donc à chaque moule de forme correspond le moule du catcher



Support pour pièce tournée de différents diamètres



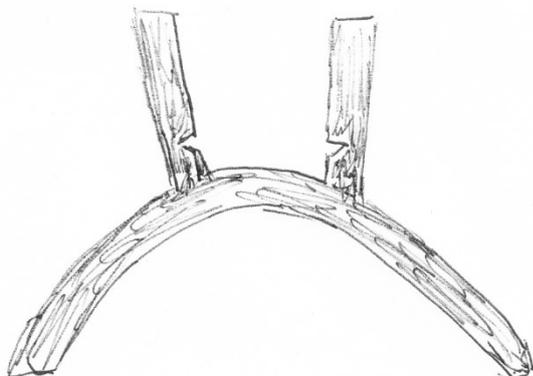
Coupelle et son support



On prépare les pièces pour l'enfournement en collant le support sur la pièce avec une colle à papier peint chargée en alumine. La pièce et son support sont placés dans une coupelle destinée à récupérer l'émail qui aura coulé. Il est à noter que quand on débute on a intérêt à faire des coupelles assez grosses surtout avec des émaillages généreux.

Voici un lien du procédé employé par Bill Boyd <http://www.billboydceramics.com/Process-images.htm> qui est peu différent du mien

Bill Schran développe une autre technique qui consiste à ajouter un grand pied aux pièces puis faire une amorce de rupture dans ce pied par tournassage à l'intérieur. Il chauffe ensuite la pièce cuite au niveau de l'amorce de rupture pour séparer



Après cuisson

Bill Boyd sépare les pièces du support en chauffant à la jonction avec le support. Personnellement j'emploie une scie circulaire diamantée pour séparer la pièce de son support. C'est une technique assez sûre.

Les pièces après avoir été séparées de leur support sont finies sur une platine et à la "dremel". Il est à noter que les outils diamantés doivent impérativement être utilisés avec de l'eau (si on ne met point d'eau le diamant va tout simplement brûler). Au cours de ce stage je ferai la démonstration de ma méthode de coupe, polissage et finition des pièces.

29^e

Méthode de réalisation d'essais

où la seringue devient l'outil indispensable

Le problème dans la réalisation d'essais d'émaux c'est que c'est long et fastidieux. On peut aimer passer sa journée en compagnie de sa balance mais personnellement ce n'est pas ma tasse de thé. Donc j'essaie de faire le moins de pesées possible. Une des méthodes c'est tout d'abord de ne pas peser n'importe quoi (ce n'est pas la peine de peser un essai qui est théoriquement non

valable voir plus loin) l'autre méthode c'est de faire des dosages en volume c'est-à-dire que l'on va réaliser par exemple une recette A de 20gr de matériaux dilués dans 20cc d'eau et une recette de 20gr de B dilué pareillement. Ensuite avec une seringue on peut réaliser les mélanges de A avec B par exemple 1 volume de A et 9 de B, puis 2 de A et 8 de B etc. Si il se trouve que l'essai 3A avec 7B donne un émail merveilleux on voudra calculer sa recette et sa recette sera la recette de A avec coefficient 3 additionnée avec la recette de B coefficient 7. Des esprits chagrins me diront que l'on ne peut pas passer comme cela du volume au poids, il y a en effet une erreur qui vient du fait que les matériaux n'ont pas la même densité mais l'erreur est infime et en tout cas inférieure aux imprécisions du dosage. Cette méthode par dosage en volume n'est pas aussi rigoureuse que la pesée de chaque essai séparément mais elle est beaucoup plus rapide

Dans la deuxième série d'essais de ce stage nous allons chercher des recettes voisines des recettes de la première série. Les résultats de la première série étant connus et n'étant peut-être pas parfaits, en tout cas non conforme à nos désirs, il pourra être envisagé de faire varier quelques composants des recettes de base.

Pour cela on va utiliser une trituile ne cherchez pas dans le dictionnaire j'ai inventé le mot ainsi que la chose. Cette trituile est donc une tuile à essai en forme de triangle compartimentée



Comme vous voyez cette tuile triangulaire a 15 cases. On appellera A la case du dessus, B celle de gauche et C celle de droite. Comme vous vous en doutez on fera une recette A que l'on posera en A une recette B en B et C en C les intermédiaires dans les autres cases. Pour s'y retrouver j'ai fabriqué aussi un récipient qui reprend ce triangle pour réaliser les mélanges



La vidéo sur la façon de faire est ici <https://www.youtube.com/watch?v=ir92E4QETLs>

J'ai choisi un triangle de 5 cases à la base, j'aurais pu faire une progression plus fine mais cela aurait diminué la taille de chaque échantillon. Pour se rendre compte de la valeur de l'échantillon il convient qu'il ait une certaine dimension. J'ai choisi aussi de cloisonner les différents échantillons pour éviter que celui du dessus ne coule sur la case du bas. Comme cette tritulle est moulée ça ne donne pas plus de travail.

En pratique si on a une recette que l'on voudrait essayer mais comme cette recette a été trouvée sur le web ou bien c'est la cousine Berthe qui l'a ramené d'un stage poterie canoé- kayak dans le Vercors a priori on aura une confiance limitée. Donc on calculera sa formule moléculaire (voir plus loin) on regardera sa température de fusion théorique (voir plus loin) si tout ça est à peu près cohérent on peut passer à l'étape suivante qui consiste à transformer la recette de cousine Berthe en l'adaptant aux matériaux dont on dispose ; puis on calcule une recette qui sera la recette de cousine Berthe avec 0.15 mole de silice de moins (par exemple) cette recette on l'appelle B, la recette C sera la recette B avec un ajout de 0.3 mole de silice et pour la recette A on prend la moyenne de B et C et on ajoute 7 ou 8 % de titane.

En pratique, pour faire moins de pesée on pèse donc B pour avoir 20 à 25 gr de matériaux sec on ajoute 20 ml d'eau. On mélange. On divise cette quantité d'émail en trois godets A, B et C. Le B, on n'ajoute rien ; le C on ajoute la quantité de silice voulue (se méfier de ne pas ajouter le triple) et le A la moitié de la silice et le titane. N'oubliez pas de noter la recette de B au dos de la tritulle et l'ajout pour C et A. Le fait de noter sur l'échantillon la recette évite des recherches souvent infructueuses dans des papiers qui sont chez moi forcément non classés. La variation sur la silice et le titane est bien adaptée aux émaux cristallisants. Si on cherche dans les rouges de fer avec du P2O5 on pourra faire varier le phosphate en horizontal et le fer en vertical par exemple

Coloration d'un émail

Comme le titre le laisse supposer nous allons essayer de voir quelques possibilités de coloration d'émail dont les recherches précédentes nous ont permis de déterminer la recette.

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

- Les colorants du commerce
- Les oxydes ou carbonates habituels : fer, cuivre, cobalt, nickel, chrome et manganèse

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. De plus elles présentent pour certaines des problèmes géopolitiques au niveau de l'exploitation des minerais. Pour ceux que ça intéresse j'en mettrai à la disposition pour essais...

Il est à noter 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 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. (Voir pdf joint Jouenne p38) 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...

Nous excluons aussi les colorants car les émaux cristallins brillants, du fait de leur forte fusibilité, décomposent très souvent ceux-ci. (Il n'est pas rare qu'un émail cristallin soit déjà nappé à 1000°C) Leur influence se trouve donc limitée à la somme des oxydes du colorant qui entrent dans sa composition. Exemple : un colorant jaune pourra être une combinaison chimique de Pr, Sb, Ti et V soit du praséodyme de l'antimoine, du titane et du vanadium Dans cet exemple l'effet dans notre émail sera le même que si on ajoutait ces différents oxydes à notre base. C'est la combinaison chimique de ces oxydes qui donnent la couleur du colorant. Si le « grain » de colorant est dissous dans l'émail, les liaisons entre le Pr, Sb, Ti et V étant détruites la couleur du colorant disparaît. Nous verrons ultérieurement comment on peut les utiliser en rusant !

Nous utiliserons donc le carbonate de cobalt CoCO_3 , qui offre à mon avis une meilleure dispersion, le carbonate de cuivre CuCO_3 , l'oxyde de Nickel NiO , l'oxyde de fer rouge Fe_2O_3 et le bioxyde de manganèse MnO_2 .

La base utilisée pour cette recherche sera une base déterminée par les essais préalables

Réalisation des essais

Nous allons limiter les pesées au maximum et réaliser des mélanges en volume grâce à des seringues de 10ml pour étudier l'influence de la concentration des oxydes colorants et de leur combinaison. Des esprits chagrins diront que les mélanges à la seringue sont moins précis qu'en pesant tout mais ils sont beaucoup plus rapides.

On effectue donc la pesée de la recette en multipliant les quantités par 6 pour obtenir environ 180gr de glaçure en sec et on ajoute le même poids d'eau. On répartit dans 6 gobelets à raison de 40 gr dans les 5 premiers (soit 20 gr en sec) et le reste dans le dernier. On marque les verres Cu, Co, F, N, M et R pour le dernier. On ajoute

- Dans Cu 3% de cuivre soit 0.6gr (3% de 20 gr)
- Dans Co 0.5% de cobalt soit 0.1gr
- Dans F 5% de fer soit 1gr
- Dans N 1% de nickel soit 0.2gr
- Dans M 5% de manganèse soit 1gr
- Dans R on n'ajoute rien

On va réaliser nos échantillons de glaçure en préparant toujours 5 ml de mélange Les mélanges seront notés par exemple 3 Cu 1F 1R (3+1+1=5) ce qui correspond à 3ml de Cu, 1ml de F et 1 de

non coloré soit 3x3/5 de cuivre soit 1,8% de cuivre, 1x5/5 soit 1% de fer (R n'ajoute pas d'oxyde colorant)

Dans un premier temps on essaie les différentes concentrations des 5 oxydes employés seuls donc en les diluant avec le R. Il y a 5 concentrations possibles suivant le tableau

	5X	4X1R	3X2R	2X 3R	1X4R	5R
Cu	3%	2.4%	1.8%	1.2%	0.6%	0%
Co	0.5%	0.4%	0.3%	0.2%	0.1%	0%
F	5%	4%	3%	2%	1%	0%
N	1%	0.8%	0.6%	0.4%	0.2%	0%
M	5%	4%	3%	2%	1%	0%

Puis on essaiera les combinaisons de deux oxydes par exemple

Coloration d'un émail par pose sur un engobe coloré

L'utilisation de colorant n'est pas possible à l'intérieur de l'émail comme on l'a vu précédemment mais rien n'empêche de poser un émail transparent sur un engobe coloré. Par exemple Denis Caraty fait son « rouge de rouge » de cette façon. J'ai réalisé quelques tuiles engobées avec un colorant gris et un jaune pour réaliser des essais avec cette méthode. On les émaillera avec un émail incolore dont on aura trouvé la recette au cours de nos essais précédents

Réduction des émaux cristallisants

Le matériel mis à disposition au cours de ce stage ne permet pas ce type de cuisson mais voilà ce qui se pratique :

Comme il ne semble pas possible de monter la température du four en réduction car le zinc ne semble pas apprécier ce régime on peut faire une réduction à la descente ou alors au cours d'une seconde cuisson à plus basse température. Je pratique généralement la première méthode. Pour ce faire j'utilise un four à gaz. Le début de la cuisson jusqu'à la fin des paliers se fait en oxydation. La réduction se fait en dessous de 1030°C et est assez forte. La réduction autour de 1000° permet de faire virer le fer de jaune au bleu, le titane donne alors une teinte violacée. Le cuivre est réduit plus bas autour de 730°C et passe alors de vert à rouge.

La deuxième méthode consiste à reprendre les pièces sorties de la cuisson émail, les débarrasser de leur support de cuisson et les recuire à 750- 800°C dans un four à gaz avec une forte réduction entre 700 et 800. On peut réaliser des réductions en four électrique par ajout d'alcool au goutte à goutte ou de gaz ou alors de bois. Un ami potier laisse une place en bas du four électrique. A la descente vers 800° il ouvre le four y place une buche

referme le four. Terry Fallon a lui mis au point un four électrique avec apport de gaz pour modifier son atmosphère. Son four est entièrement automatisé en courbe de température et atmosphère

<http://www.fallonator.com/home>

Matification des émaux brillants

Il existe plusieurs méthodes

La première est de sabler les pièces comme le fait Wayne Fischer ou de les passer au papier de verre

La seconde qui donne des résultats étonnants avec certains émaux cristallins brillants est de les repasser dans une cuisson de biscuit.

La troisième est de plonger la pièce dans une solution d'acide chlorhydrique ou de boisson énergisante. Ceci marche bien avec un émail très chargé en cuivre. Deinböck utilise de l'acide fluorhydrique mais ceci est fortement dangereux. Les américains sont plus pour le Red Bull !. On fera un essai avec de l'acide chlorhydrique

Environnement et santé

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. Il y a quelques années j'ai fait faire une étude par le laboratoire Wellience sur la migration du zinc et du baryum des émaux cristallisants aux aliments avec 4 glaçures différentes on lira avec intérêt le résultat de cette étude en pièce jointe.

Pour sa propre santé, dans un atelier il faut essayer de faire le moins de poussières possible. Pas de tamisage à sec, l'aspirateur  à proscrire (il met les particules fines en suspension et n'aspire que les grosses), préférer un nettoyage de l'atelier au jet.

Pour l'environnement je préconise

. de préférer l'utilisation des matériaux frittés aux matériaux bruts comme le carbonate de baryum ou le zinc.

. de rincer l'outillage et les pinceaux dans une bassine, de faire décanter, de faire sécher cette boue et de la vitrifier.

. D'essayer d'économiser l'énergie en préférant les cuissons rapides

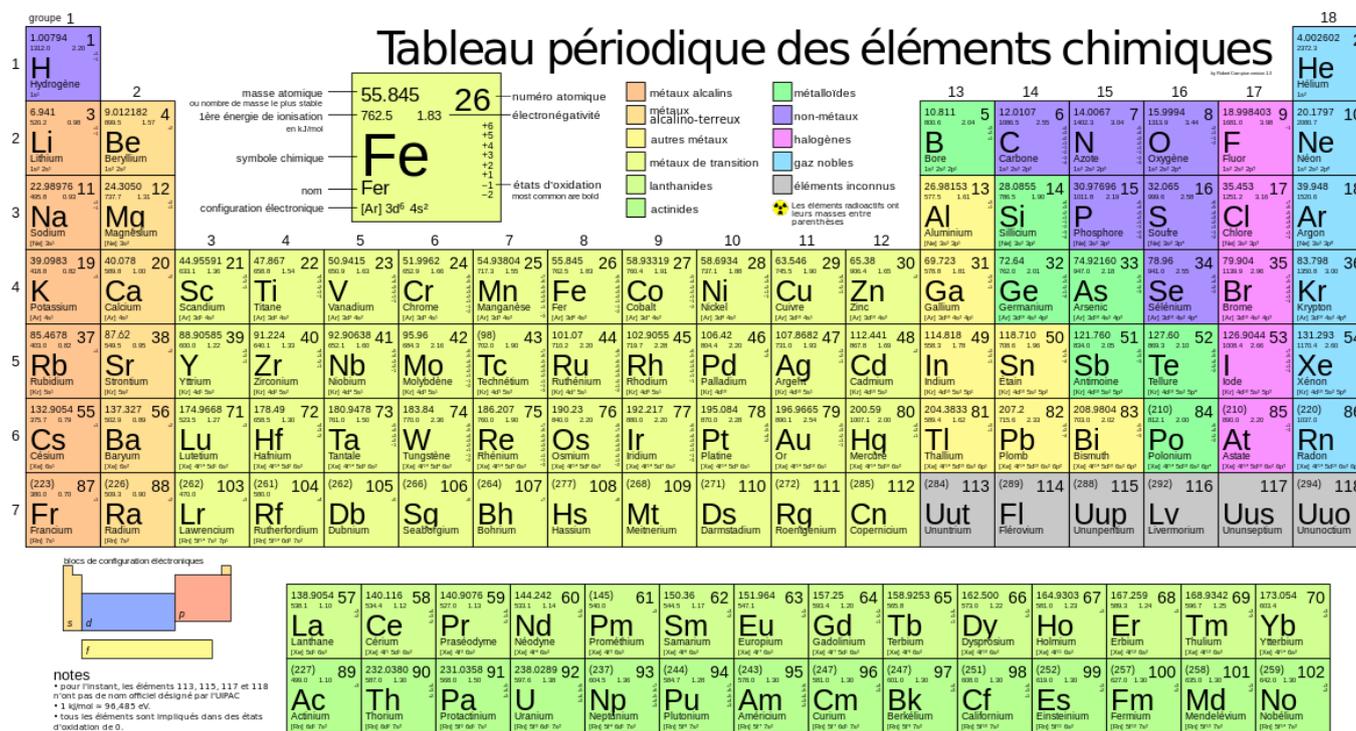
Bref réfléchir sur les nuisances que son activité génère et ne pas les minimiser.

FORMULE DE SEGER

La plupart des produits qui entrent dans la composition des émaux sont des matériaux qui contiennent de nombreux éléments ; par exemple un feldspath contiendra du silicium, du potassium, du sodium, de l'oxygène, de l'aluminium, du calcium, souvent aussi des traces de différentes impuretés. Si on veut amener par exemple du calcium dans un émail on pourra l'amener par de la chaux CaCO_3 , de la dolomie, de la wollastonite, du spath fluor Ca F_2 une cendre etc... mais ce qui importe c'est la quantité de calcium que l'on apporte. Comme on a le choix d'apporter tel élément par tel ou tel matériau on pourra obtenir une même composition finale d'un émail avec des recettes différentes. Afin de comparer différentes recettes d'émail il convient de transformer cette recette en "formule moléculaire" afin de mieux voir les différents composants de celle-ci.

Petit rappel de chimie : Une mole est définie comme la quantité de matière (qui contient $6,02 \cdot 10^{23}$ soit 602000000000000000000000 (nombre d'Avogadro) atomes de cette matière La masse de cette mole ou masse atomique pour les différents éléments est donnée dans le tableau de Mandeleiev. Pour avoir la masse molaire d'une molécule c'est-à-dire la masse de $6.02 \cdot 10^{23}$ molécules il suffit d'ajouter les masses atomiques des éléments qui la composent

exemple l'alumine (de formule Al_2O_3) la molécule contenant 2 Al de masse atomique 27 et 3 O de masse atomique 16 ce qui donne $2 \times 27 + 3 \times 16 = 102gr$



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 (K_2O , Na_2O , 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 R_2O_3 (Al_2O_3 , B_2O_3)

Les formateurs RO_2 (SiO_2 , TiO_2)

Un émail pourra donc être présenté selon Seger comme ceci

Transformateurs		Stabilisateurs		Formateurs	
SrO	0.00	Al_2O_3	0.15	SiO_2	1.71
CaO	0.25	B_2O_3	0.00	TiO_2	0.15
ZnO	0.55				
Li_2O	0.08				
BaO	0.00				
Na_2O	0.04				
K_2O	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
B 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. Quelque fois ils donnent même leur formule moléculaire. Sinon 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.

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 Email 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	Telf	961545588	
PRODESCO S.L..	Fax	961533025	
C/ Aviación 44	email	admon@prodesco.es	
46940 Manises	Web	http://www.prodesco.es	
Valencia - España			
2. COMPOSITION ET INFORMATION SUR LES COMPOSANTS			
Analyse Chimique			
Li ₂ O	ZnO	28,31	Cr ₂ O ₃
Na ₂ O 6,86 [5-10]	MnO		B ₂ O ₃ 4,23 [1-5]
K ₂ O 0,25 [0-0,5]	CdO		V ₂ O ₅
MgO 0,01	CoO		MnO ₂
CaO 6,43 [5-10]	NiO		SiO ₂ 61,26 [40-80]
SrO 0,49 [0-0,5]	Al ₂ O ₃ 4,83 [1-5]		TiO ₂ 0,005
BaO 2,537	Fe ₂ O ₃ 0,041		ZrO ₂
PbO	Sb ₂ O ₃		SnO ₂
			Pr ₂ O ₃
3. PROPRIETES PHYSICO-CHEMIQUES			
Aspect physique	Poudre atomisée blanche.		Index Acide
État	Solide.		1,13
Couleur en cuit	Transparent mat.		Tension Superficielle
Odeur	-		376,24din/cm
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 DILATOMETRIQUES			
(25-300)	74,74·10 ⁻⁷ C ⁻¹	T ^a Transformation	529°C
(50-300)	75,54·10 ⁻⁷ C ⁻¹	T ^a Ramollissement	784°C
(300-500)	88,66·10 ⁻⁷ C ⁻¹	Point de Fusion	> 950°C
(500-600)	252,38·10 ⁻⁷ 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 EMAILÉS 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)			



Si on n'insiste pas il ne vous dira que ce qui est écrit entre parenthèses soit, par exemple, pour la silice entre 40 et 80% ce qui manque d'exactitude

Revenons à nos moutons

Le problème étant avec une telle présentation de la formule moléculaire comment fait-on pour passer de la recette à la formule 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 moléculaire

$(62 \times 0.34) + (94 \times 0.66) + (102 \times 1.06) + (60 \times 6.86)$ soit 602.84

Comme 0.04 et 0.08 font 0.12 (Na₂O+K₂O) (ce qui tombe bien) on mettra 0.12×682.84 de feldspath soit **82g**

Mais en mettant 0.12 de feldspath on a amené 0.12×1.06 d'alumine et 0.12×6.86 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 $0.55 \times 81.4 =$ **44.8g**

Carbonate de lithium $0.08 \times 73.9 =$ **5.9g**

Oxyde de titane $0.15 \times 79.9 =$ **12g**

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

$0.023 \times 258 =$ **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 0.023×2 de silice donc on avait à apporter 0,89 on retranche donc 0.046 ce qui donne $(0.89 - 0.046) \times 60 =$ **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.

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

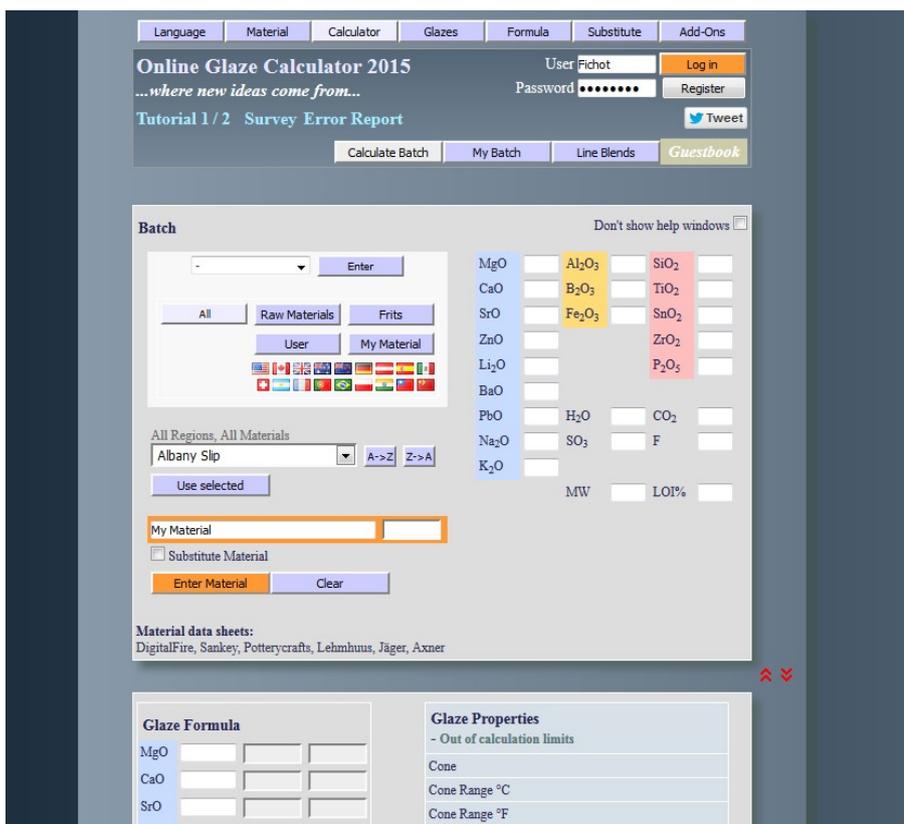
<https://ledouget.fr/#methode>

ou sur celle de Denis Caraty

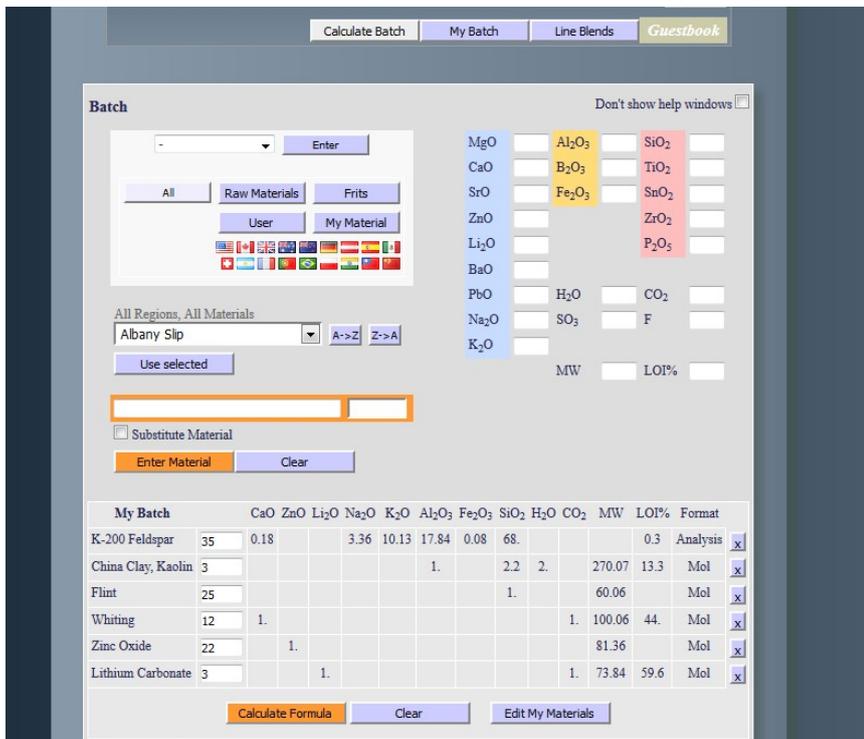
<http://smart2000.pagesperso-orange.fr/conversion%20glacure.htm>

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>

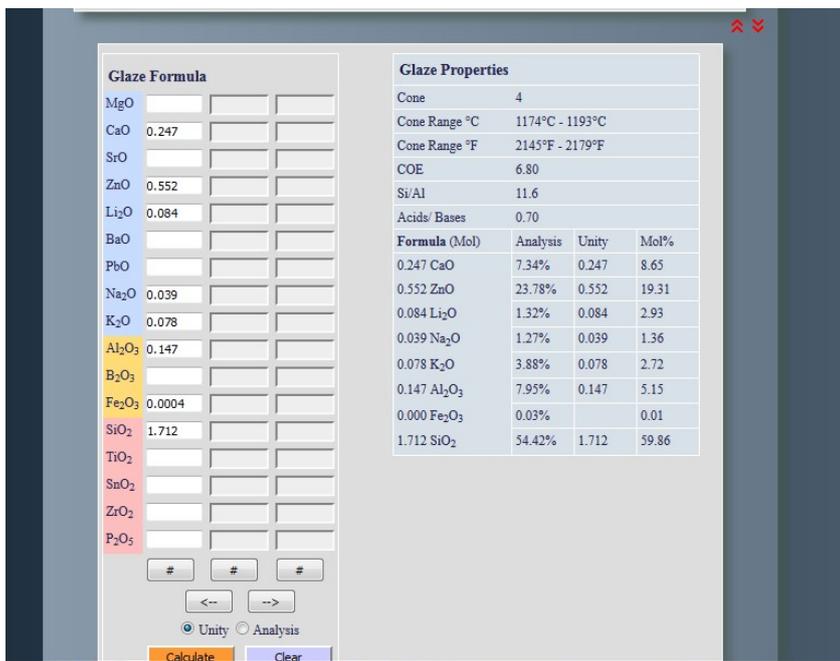
Voici des captures d'écran de ce site



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. Pour des émaux classiques cette température de fusion théorique correspond grosso modo à la température de cuisson. On pourra vérifier en prenant des recettes dans le Matthes par exemple et regarder cette correspondance.

Utilisation de ce logiciel pour notre recherche

On a vu que pour faire un émail cristallisant il fallait fondre entièrement les matières premières donc aller plus haut que la température de fusion théorique. (Si on utilise ce logiciel pour des émaux classiques la température de cuisson est voisine de la température de fusion théorique) Généralement les mélanges que j'utilise ont une température de fusion théorique de l'ordre de 1140°C à 1170°C c'est-à-dire environ 100° en dessous de la température de cuisson effective et une cinquantaine de degrés au-dessus de la température de cristallisation (température où on va faire les paliers de croissance des cristaux). Tout ceci est parfaitement cohérent avec la théorie que j'ai mentionnée plus haut. Il est à noter aussi que ce logiciel calcule aussi l'effet de l'ajout d'oxyde colorant sur cette température de cuisson. Ce logiciel mentionne aussi le rapport silice alumine mais ceci n'a d'intérêt que dans les émaux classiques. Il mentionne aussi le coefficient de dilatation qui ne devra pas être trop différent de celui de votre tesson. J'utilise toujours ce logiciel dans le sens recette vers formule ce qui est contraire aux habitudes de beaucoup de mes collègues. En général ils partent par exemple du diagramme 42 de Montmollin et ils se disent par exemple je vais essayer le point 0.6 Al₂O₃ avec 6 SiO₂. Ils calculent alors la recette correspondante donc à

0.1CaO 0.4 MgO 0.5 KNaO 0.6 Al₂O₃ 6SiO₂

Moi je fais l'inverse car je pars du matériau Par exemple avant de venir à ce stage j'avais décidé d'essayer une nouvelle fritte la **FM 77355** ayant pour formule
0,1 K₂O 0.9 ZnO 0,1 Al₂O₃ 0.8 SiO₂

Quand on regarde la formulation de cette fritte on voit qu'il y a beaucoup de zinc donc pourquoi ne pas lui associer une autre fritte et pour prendre une fritte courante la 3110 qui a pour formule.

K ₂ O	0.064	Al ₂ O ₃	0.095	SiO ₂	3.003
Na ₂ O	0.644	B ₂ O ₃	0.097		
CaO	0.293				

Donc on regarde dans le logiciel en ligne ces deux frites sont mentionnées donc tout va bien

44e
44

On commence par introduire la FM77355 on en met 30gr, on introduit la 3110 on en met pareil, on se dit qu'avec cela il faudrait bien un peu de bentonite pour empêcher le bain d'émail de plomber on en met 2 gr. Arrivé à ce stade vu que l'on n'est pas totalement néophyte et que l'on a quelques préférences pour les émaux contenant du titane (opacité et frange du cristal) on en met 4 gr et on calcule la formule moléculaire. En observant ce que l'ordi vient de nous sortir on voit que la température de fusion théorique est trop basse (1158-1165) Pour les émaux cristallisants, on veut que l'émail soit entièrement fondu. Il

faut donc que la température de fusion théorique soit inférieure à la température de cuisson. Mais là on a une différence de près de 100°C et par expérience c'est trop

Glaze Properties			
Cone	2		
Cone Range °C	1158°C - 1165°C		
Cone Range °F	2116°F - 2129°F		
COE	7.98		
Si/Al	14.9		
Acids/ Bases	0.65		
Formula (Mol)	Analysis	Unity	Mol%
0.006 MgO	0.12%	0.006	0.21
0.105 CaO	2.98%	0.105	3.62
0.577 ZnO	23.73%	0.577	19.87
0.225 Na ₂ O	7.06%	0.225	7.76
0.087 K ₂ O	4.15%	0.087	3.00
0.108 Al ₂ O ₃	5.58%	0.108	3.73
0.036 B ₂ O ₃	1.27%	0.036	1.24
0.006 Fe ₂ O ₃	0.49%	0.006	0.21
1.613 SiO ₂	48.99%	1.613	55.57
0.138 TiO ₂	5.58%	0.138	4.76
0.001 ZrO ₂	0.06%	0.001	0.03

Donc on va ajouter de la silice. Après deux ou trois tâtonnements pour ajuster la température de fusion on arrive à la recette

77355	30
3110	30
Silice	15
Bentonite	2
Titane	4

45e
45

Arrivé à ce point c'est peut-être un peu juste de ne faire qu'un essai donc on va faire un "balayage" autour de cette recette. C'est-à-dire que l'on fera trois recettes

Une avec un peu plus de titane par exemple 6 gr (recette A)

Une autre avec 0.2 mole de silice en moins et 2 gr de titane (recette B)

Et la troisième avec 0.2 mole de silice en plus toujours avec 2 gr de titane (recette C)

Ensuite, avec un dosage à la seringue, on a relativement vite fait de faire les différents mélanges du triangle ABC. Après cuisson et examen des tessons on choisit le meilleur résultat On fait de nouveau un balayage autour de celui-ci pour améliorer encore le résultat. On pourrait réitérer le process 2 ou 3 fois mais il est à noter qu'au bout d'un certain moment les variations infinitésimales de la composition entraînent des variations moindres que les autres paramètres comme l'épaisseur ou la place dans le four...

Formules Limites

Email cristallisant brillant : limites de chaque élément

Dans ce tableau on voit les limites "généralement admises" basses et hautes des différents composants dans les émaux cristallisants. C'est-à-dire que la plupart des céramistes travaillent entre ces limites. Ce tableau est donné à titre indicatif car les recettes de certains émaux cristallisants sont en dehors des clous et marchent pas si mal que ça.

Cône 6

Cône 8

cône 10

selon Snair

Li ₂ O	0.05 à 0.15			
Na ₂ O ou K ₂ O	0.2 à 0.3	0.02 à 0.15	0.2 à 0.4	0.3 à 0.6
MgO	0.1 à 0.15	0.15 à 0.25	0.1 à 0.15	Inf à 0.15
CaO				
SrO				
BaO		0		
ZnO	0.5 à 0.6	Sup à 0.7	0.55 à 0.65	0.4 à 0.7
Al ₂ O ₃	0.03 à 0.05	0.03 à 0.05	0.03 à 0.05	Inf à 0.12
B ₂ O ₃	0 à 0.05	0.1 à 0.2	0.03 à 0.04	Inf à 0.15
SiO ₂	1.3 à 1.8	1 à 1.5	1.6 à 2	1.2 à 1.9

Pour les émaux cristallisants mats au baryum nous avons les valeurs suivantes

Selon

Hein Severijns

Yves Lambeau

Na ₂ O ou K ₂ O	0.15 à 0.20	idem
MgO	0.05 à 0.10	idem
CaO	0.05 à 0.15	0
SrO	0	0.05 à 0.1
Li ₂ O	0	0.02 à 0.05
BaO	0.2 à 0.4	idem
ZnO	0.35 à 0.5	idem
Al ₂ O ₃	0.15 à 0.20	idem
B ₂ O ₃		
SiO ₂	1.5 à 2.2	idem

47^e

L'intérêt de la formule Seger est donc de voir directement ce qu'il y a dans un émail. L'autre intérêt est de pouvoir formuler un même émail quand un matériau vient à manquer. Ceci nécessitera évidemment des essais préalables car le nouveau matériau n'aura non seulement pas la même granulométrie mais de plus s'il est mis sous forme de fritte, l'émail fondra avant ; il faudra peut-être aussi changer l'épaisseur d'application etc En tout état de cause la formule Seger n'est pas la panacée mais elle est quand même bien pratique car

elle permet de ne pas chercher avec des compositions aberrantes (ce n'est pas la peine d'essayer un émail à 0.5 Al₂O₃ ou 5 SiO₂ pour faire un émail cristallisant brillant !) donc elle permet de gagner du temps de recherche et si elle est faite avec un logiciel de calcul n'est pas trop contraignante.

Quelques remarques sur ma vision de la céramique

Vous avez peut-être remarqué au cours de ce stage que j'ai une vision un peu personnelle de la pratique de la céramique qui entraîne des choix qui peuvent paraître sectaire. Par exemple dans le choix des matériaux que j'utilise pour réaliser des émaux. Outre le fait d'utiliser de préférence des frites au baryum ou au zinc plutôt que les oxydes correspondant, je choisis des matières premières provenant de fournisseurs céramiques plutôt que des matériaux dits "naturels" car pour moi une recherche d'émail est grandement facilitée par la connaissance de la composition chimique des matériaux que l'on utilise. Par exemple des matériaux comme les cendres sont de mon point de vue inutilisables car même si l'on dispose d'une analyse chimique ce matériau conservant toujours une certaine solubilité on ne sait pas ce qui reste dans l'émail une partie ayant migré dans le tesson au moment de l'émaillage. De plus quand on a réalisé un magnifique émail avec un lot de cendre et que celui-ci vient à s'épuiser, il faut reprendre les recherches à zéro avec le nouveau lot, dommage....Il est vrai toutefois que l'on peut faire des émaux très intéressants avec ce matériau et que c'est plus poétique de parler d'un émail à la cendre de lavande qui évoque le soleil, les vacances etc que de parler d'un émail au baryum, strontium ou lithium qui font plutôt penser à Tchernobyl....

En guise de conclusion

J'ai essayé au cours de ce stage de consacrer beaucoup de temps à la partie théorique. Il est vrai que c'est un peu rébarbatif mais je pense qu'il est important d'entrevoir ce qui se passe au cours de la cuisson au niveau de l'émail. La méthode que je présente s'appuie beaucoup sur le logiciel de calcul en ligne (on line glaze calculator.com) et finalement la partie théorique n'est là que pour expliquer comment les informaticiens céramistes on fait pour programmer leur logiciel. Il est vrai aussi que l'on peut utiliser ce logiciel sans se poser toutes ces questions...

En résumé pour faire de la recherche d'émaux (cristallisants ou autres) il faut un petit four d'essais, des matériaux bien choisis et fiables, faire varier les paramètres un par un... Un peu de rigueur et c'est facile !

Bonne recherche

Fin

Lien divers

http://www.tursan.org/file_pdf/2012/Cristillalisions.pdf

<http://smart2000.pagesperso-orange.fr/>

<https://ledouget.fr>

<http://www.cristallisations.com/>

<https://www.online-glaze-calculator.com/Calculator/fr2.php>

Bouquins

Wolf Matthes Emaux et glaçures céramiques

Jouenne Traité de céramiques et matériaux minéraux

Marc Uzan Les glaçures céramiques

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/>

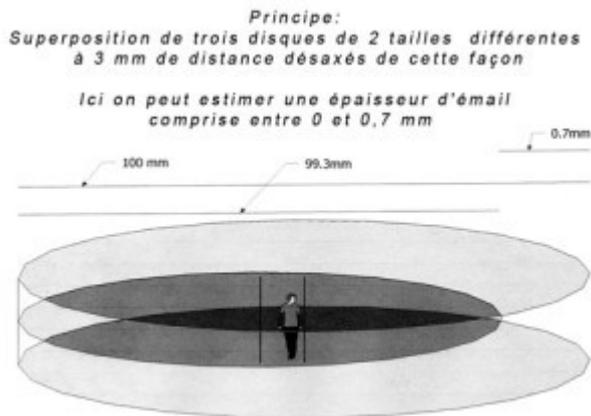
Dispositif servant à mesurer l'épaisseur d'émail

Un des problèmes pour réaliser des émaux cristallisants est de contrôler, au moment de sa pose, son épaisseur. En effet si on le pose trop épais il a une forte tendance à couler et le résultat n'est

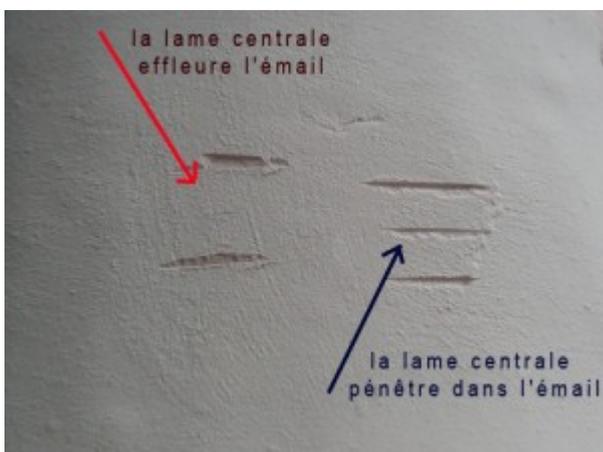
pas au rendez-vous et s'il est trop fin, les cristaux sont trop nombreux. J'ai réalisé un appareil qui permet d'estimer cette épaisseur.



Il est fabriqué avec deux lames circulaires de 100 mm* et une autre lame qui a été rectifiée et qui possède un diamètre d'1 mm inférieur. Celle-ci est placée entre les deux autres et est excentrée comme l'indique le schéma



Quand on pose l'appareil sur l'émail les deux lames extérieures touchant le tesson il suffit de repérer à partir de quelle graduation la lame médiane effleure l'émail.



51e51

Pour l'émail que j'utilise le plus fréquemment en ce moment, je dois être entre 3 et 4 soit 0.55 mm

* il existe des lames de cutter rondes de 45mm qui conviendraient aussi pour cet usage.

On peut aussi, par exemple, mesurer une épaisseur entre 0.5mm et 1.5mm. Pour ce faire on prend deux lames de 45 mm et une autre que l'on rectifie à 43 et on décentre la lame centrale de 0.5 mm.

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 à napper et à fait disparaître les traces de cutter ou au contraire si 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 à la fâcheuse tendance à faire casser la pièce ou que l'on n'aime pas les tressaillements...

Une première méthode c'est de la calculer.

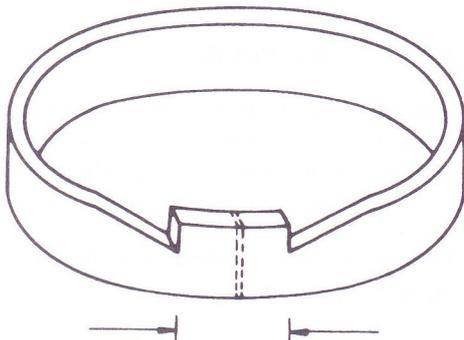
En gros chaque élément entrant dans la composition de la glaçure à sa dilatation propre et l'émail aura pour coefficient de dilatation la moyenne des coefficients de chaque matériau pondéré par le pourcentage molaire de ce matériau.. J'ai dit en gros car c'est un peu plus compliqué que cela car le coeff 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 moléculaire 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.

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...



19 b. Anneau échantillon de tension.

