

# L'ÉMAIL EN TOUTE TRANSPARENCE

Sofie Goethals

Lannoo

Merci d'avoir acheté ce livre, cela me fait vraiment plaisir. J'espère qu'il vous accompagnera dans votre exploration du monde fascinant des émaux.

L'émail, ce n'est pas de la peinture. Il ne s'agit pas simplement d'appliquer une couleur sur de la céramique. De nombreuses variables peuvent affecter le résultat final et il est essentiel de les connaître et de les contrôler pour obtenir de bons résultats. Pourtant, je pense que c'est un aspect que certains céramistes sous-estiment lorsqu'ils travaillent l'argile. Ils finissent par considérer l'émaillage comme un travail fastidieux, quelque chose qui rate souvent, qui dépasse l'entendement. Du domaine scientifique et donc laborieux.

J'ai une formation scientifique. Pendant plus de 12 ans, j'ai travaillé dans un laboratoire universitaire. Il est indéniable que ce parcours m'est utile aujourd'hui. J'ai effectivement appris beaucoup de concepts chimiques au cours de ma formation et de ma carrière. Je sais comment les expériences doivent être élaborées. Je suis capable de résoudre certains problèmes et je suis extrêmement curieuse de nature. Mais cela ne signifie en rien que la fabrication d'émaux doit être réservée aux personnes ayant suivi des études universitaires de chimie. Loin de là !

Faut-il des connaissances préalables pour lire ce livre ? Absolument pas. Faut-il de la persévérance pour obtenir de jolis émaux ? Absolument ! Faut-il tester et expérimenter ? Évidemment !

L'émaillage, c'est comme le travail de l'argile. Soyez honnête : la première fois que vous vous êtes retrouvé derrière un tour de potier, vous n'avez pas produit un chef-d'œuvre (et moi non plus !). Pensez à vos premiers modèles ou à la première fois que vous avez travaillé des plaques d'argile, le résultat n'était certainement pas parfait. Vous avez dû pratiquer, encore et encore, pour vous améliorer.

Pour les émaux, c'est pareil. Apprendre à développer, améliorer, comprendre, appliquer et maîtriser les émaux est un processus à part entière. Cela demande du temps et des efforts. Mais au bout du compte... ça paie !

J'espère que cet ouvrage saura vous inspirer et vous donnera l'envie de vous lancer dans vos propres essais. Certains chapitres seront plus difficiles que d'autres. Si vous ne vous sentez pas prêt, passez-les, mais ne vous découragez pas. Peut-être pourrez-vous vous y référer plus tard, lorsque vous aurez acquis un peu plus d'expérience pratique. J'ai écrit ce livre à partir d'une structure qui me semblait logique, mais bien entendu, vous n'êtes pas obligé de la suivre. Vous préférez regarder les photos des échantillons ? Parfait ! Vous utilisez juste quelques recettes de base ? C'est très bien aussi ! Avant tout, faites ce qui vous plaît.

Je vous souhaite beaucoup de réussite dans votre découverte des émaux. Apprenez, expérimentez et amusez-vous !

*Sofie*

SO  
GO  
KERAMIEK

# TABLE DES MATIÈRES

<b>CHAPITRE 1 : LA BASE</b>	<b>8</b>	Spodumène	24
QU'EST-CE QUE L'ÉMAIL ?	9	Carbonate de sodium	24
UNE COUCHE VITRIFIÉE QUI RECOUVRE LA CÉRAMIQUE	9	Craie	25
LE LIQUIDE DANS DES SEAUX OU DES POTS DANS VOTRE ATELIER	9	Wollastonite	25
EMAIL, GLAÇURE OU COUVERTE	9	Dolomie	25
POURQUOI ÉMAILLER ?	10	Carbonate de magnésium léger	25
HYGIÈNE	10	Talc	26
SOLIDITÉ	10	Carbonate de strontium	26
ESTHÉTIQUE	10	Carbonate de baryum	27
ÉTANCHÉITÉ	10	Oxyde de zinc	27
TYPES D'ARGILE ET ÉMAUX CORRESPONDANTS	11	Fritte	27
FAÏENCE (ARGILE OU ÉMAIL)	11	HYDROSOLUBILITÉ	29
<b>Avantages et inconvénients</b>	11	EAU DANS LE TESSON, MATIÈRES PREMIÈRES DE	
GRÈS (ARGILE OU ÉMAIL)	11	L'ÉMAIL SUR LE TESSON	29
PORCELAINES (ARGILE OU ÉMAIL)	12	UN MAUVAIS MÉLANGE DONNE UNE MAUVAISE	
RECONNAÎTRE L'ARGILE	12	COMPOSITION DE L'ÉMAIL	29
ÉLÉMENTS DE BASE DE TOUT ÉMAIL	13	CRISTAUX GÉNANTS	29
COURS ACCÉLÉRÉ DE CHIMIE POUR LES CÉRAMISTES	13	LA VIE EN COULEURS	30
Atome	13	PIGMENTS	30
Molécule	14	OXYDES COLORANTS	31
Carbonate	14	Qu'est-ce qui influence la couleur d'un émail ?	31
Oxyde	14	Cobalt (Co)	34
QU'EST-CE QUE LA FUSION ?	14	Cuivre (Cu)	36
FORMATEUR DE VERRE	15	Manganèse (Mn)	38
Silice	15	Nickel (Ni)	40
Oxyde de bore	16	Chrome (Cr)	42
STABILISATEUR	16	Fer (Fe)	44
Alumine	16	Titane (Ti)	46
FONDANT	16	Rutile	48
Métaux alcalins	17	Étain (Sn)	50
Métaux alcalino-terreux	17	Zirconium (Zr)	52
Point eutectique	18	Praséodyme (Pr)	54
CLASSIFICATION	20	Erbium (Er)	56
MATIÈRES PREMIÈRES DE BASE	20	Néodyme (Nd)	58
LA LISTE EST LONGUE	21	UNE MOUCHETURE ICI ET LÀ	60
Quartz	21	Ilménite	60
Gerstley borate	21	MOUCHETURES COLORÉES	60
Kaolin	22	Faire des mouchetures soi-même	60
Feldspath potassique	22	CENDRES	62
Feldspath sodique	23	CENDRES DE BOIS ET DE PLANTES	62
Néphéline syénite	23	POUDRE D'OS	62
Carbonate de lithium	23	<b>CHAPITRE 2 : SÉCURITÉ</b>	<b>65</b>
Pétalite	24	TRAVAILLER EN TOUTE SÉCURITÉ	65
		SÉCURITÉ PERSONNELLE	65

Absorption par voie orale	65	UNE MÉTHODE MOINS PRÉCISE, MAIS PLUS RAPIDE	94
Inhalation	66	MATÉRIEL	94
Absorption et contact avec la peau	68	MÉTHODOLOGIE	94
ENVIRONNEMENT	69	MÉLANGE VOLUMÉTRIQUE	96
Émail surprise	69	PRINCIPE	96
Mise au rebut	70	POURQUOI UN MÉLANGE VOLUMÉTRIQUE ?	96
Cuisson	70	CONDITIONS	96
CÉRAMIQUE ET DURABILITÉ	70	Les volumes doivent être égaux !	96
SÉCURITÉ ALIMENTAIRE	71	Comment faire pour normaliser ?	96
Terminologie	71	POURQUOI NORMALISER LES MÉLANGES VOLUMÉTRIQUES ?	97
Le cadre juridique	72	MÉTHODE DU TRIANGLE	100
Que puis-je tester moi-même ?	74	MATÉRIEL	100
<b>CHAPITRE 3 : L'ATELIER D'ÉMAILLAGE</b>	<b>78</b>	MÉTHODOLOGIE	100
AMÉNAGEMENT DE L'ATELIER D'ÉMAILLAGE	79	EXPÉRIENCES INTÉRESSANTES	100
MATÉRIEL	79	EXEMPLE	100
TESTS	79	CONVERTIR EN RECETTE	105
Carreau plat	80	MÉTHODE DE LA GRILLE	108
Tuile verticale	80	MATÉRIEL	108
Bol, assiette ou tasse	81	MÉTHODOLOGIE	110
Quel type de support me convient le mieux ?	81	LES RÈGLES	110
BALANCE	82	EXEMPLE	110
MIXEUR PLONGEUR	83	CONVERTIR EN RECETTE	113
UTILISER DES ÉQUIPEMENTS DE		MÉTHODE DES MÉLANGES MULTIPLES	116
PROTECTION INDIVIDUELLE	83	MATÉRIEL	116
POTS ET MESURETTES	84	MÉTHODOLOGIE	116
SERINGUE	84	EXEMPLE	118
CRAYON À ÉMAIL	84	CONVERTIR EN RECETTE	121
MATIÈRES PREMIÈRES	84	EXPÉRIENCES INTÉRESSANTES	124
EAU	85	DE L'ESSAI D'ÉMAIL À L'ÉMAIL DE PRODUCTION	124
CARNET DE NOTES	86	MÉTHODOLOGIE	125
CALCULATRICE	87	<b>CHAPITRE 5 : OBTENIR DE BONS RÉSULTATS DE FAÇON CONSTANTE</b>	<b>126</b>
<b>CHAPITRE 4 : MÉTHODES DE TEST</b>	<b>88</b>	TEMPS DE CONTACT	128
STRUCTURE STANDARD D'UNE RECETTE	89	DE QUOI S'AGIT-IL ?	128
TEST CIBLÉ	90	QUEL EST LE TEMPS DE CONTACT IDÉAL ?	128
MATÉRIEL	91	DÉTERMINATION DU TEMPS DE CONTACT	129
MÉTHODOLOGIE	81	QU'EN EST-IL DE L'ÉMAIL APPLIQUÉ AU PINCEAU	129
SÉRIE LINÉAIRE	91	ET AU PISTOLET ?	129
UNE MÉTHODE TRÈS PRÉCISE, MAIS PLUS LENTE	93	ÉMAILLAGE À CRU	129
MATÉRIEL	93	CONCLUSION	129
MÉTHODOLOGIE	93	SUPPORT, POROSITÉ ET TEMPÉRATURE DE LA CUISSON BISCUIT	130
		LA COULEUR DE L'ARGILE	130

L'ARGILE	130	QU'EST-CE QUI DÉTERMINE LA VISCOSITÉ D'UN ÉMAIL ?	151
TEMPÉRATURE DE LA CUISSON BISCUIT	131	QU'EST-CE QU'UNE BONNE VISCOSITÉ ?	151
CONCLUSION	131	<b>Doigts mouillés</b>	<b>151</b>
<b>MÉLANGE DE L'ÉMAIL</b>	<b>132</b>	<b>Coupelle d'écoulement</b>	<b>152</b>
COMMENT MÉLANGER ?	132	RELATION ENTRE LA VISCOSITÉ ET LA MASSE	
COMBIEN DE TEMPS FAUT-IL MÉLANGER ?	133	VOLUMIQUE	153
CONCLUSION	134	ARGILE DANS L'ÉMAIL	154
<b>MÉTHODE D'APPLICATION</b>	<b>134</b>	Eau chimiquement liée	154
TREMPAGE, VERSAGE ET COULAGE	134	Eau interfoliaire	154
Travailler rapidement, efficacement et s'entraîner	134	Les particules d'argile sont chargées électrostatiquement	154
C'est en forgeant qu'on devient forgeron !	136	La charge des particules d'argile est déterminée	155
Comment émailler des assiettes ?	136	par l'acidité de l'émail	155
Dois-je utiliser de la cire ?	138	<b>FLOCCULATION ET DÉFLOCCULATION</b>	<b>156</b>
Immersion à l'aide d'une pince	139	Au secours, mon émail est fortement défloculé	156
Immersion à l'aide d'une ventouse	140	Temps de séchage rapide et émaux poudreux	156
Coulage	141	Oups, mon émail est trop floclulé	157
APPLICATION AU PINCEAU	141	Propriétés d'un émail parfait	157
Pour une meilleure application au pinceau	141	Floculant	158
Pourquoi appliquer au pinceau ?	142	Défloculant	159
Plus la couche est épaisse, mieux c'est	143	QUAND DOIS-JE AJUSTER LA VISCOSITÉ	
Fabrication d'un émail à appliquer au pinceau	143	DE MON ÉMAIL ?	160
Pratique et expérimentation	143	CONCLUSION	161
PULVÉRISATION	144	<b>CHAPITRE 6 : FOURS, TEMPÉRATURE ET TRAVAIL THERMIQUE</b>	<b>162</b>
CONCLUSION	144	QUEL FOUR ME CONVIENT LE MIEUX ?	163
<b>MASSE VOLUMIQUE</b>	<b>144</b>	TYPES	163
DENSITÉ OU MASSE VOLUMIQUE	145	Budget	164
COMMENT MESURER LA MASSE VOLUMIQUE		Installation électrique	164
D'UN ÉMAIL ?	145	Utilisation	164
Détermination de la masse volumique à l'aide		Espace et emplacement	164
d'une éprouvette graduée	145	Conclusion	164
Détermination de la masse volumique à l'aide		CONCEPTION D'UN FOUR CÉRAMIQUE	165
d'une seringue	146	BRIQUES DE FOUR ET ISOLATION	165
Détermination de la masse volumique à l'aide		RELAIS ET RÉSISTANCES	165
d'un densimètre ?	147	Usure	166
POURQUOI EST-CE UTILE DE CONNAÎTRE		Registre	166
LA MASSE VOLUMIQUE ?	147	Remplacement des résistances	167
Quelques lignes directrices	147	THERMOCOUPLE	167
EFFET DE LA MASSE VOLUMIQUE SUR LE		Structure	167
RÉSULTAT DE L'ÉMAIL	148	Conduit de cheminée	167
QUAND FAUT-IL MESURER LA MASSE VOLUMIQUE		CLAPET COULISSANT EN BAS	168
ET À QUELLE FRÉQUENCE ?	149	PROGRAMMATEUR DE FOUR	168
<b>VISCOSITÉ</b>	<b>149</b>	ENTRETIEN DU FOUR	169
QU'EST-CE QUE LA VISCOSITÉ ?	150	PLAQUES D'ENFOURNEMENT	170
TOUT D'ABORD, UN MOT SUR LA THIXOTROPIE	150		
THIXOTROPIE ET VISCOSITÉ VONT DE PAIR	151		

DIFFÉRENTS TYPES	170	MASSE ATOMIQUE	196
Cordiérite	171	MOLE	196
Carbure de silicium	171	MASSE MOLÉCULAIRE ET MASSE MOLAIRE	196
PROTECTION ET ENTRETIEN	172	ANALYSE CHIMIQUE DES MATIÈRES PREMIÈRES	197
Pourquoi protéger les plaques d'enfournement ?	172	Recherche de l'analyse chimique dans Glazy	197
Quelle protection choisir ?	172		
Stockage et entretien	173	CALCUL DE LA FORMULE DE SEGER	202
QUILLES D'ENFOURNEMENT	174	APPLICATIONS PRATIQUES DE LA FORMULE DE SEGER	207
CHARGEMENT EFFICACE	174	DIAGRAMME DE STULL	207
PRINCIPES GÉNÉRAUX	175	CERTAINS ÉMAUX NE FONDENT PAS OU INSUFFISAMMENT	208
		MICROFISSURES	209
CHARGEMENT POUR UNE CUISSON BISCUIT	176	ÉMAUX MATS, SATINÉS ET BRILLANTS	209
EMPILAGE, ORGANISATION ET RÉPARTITION DU POIDS	175	Qu'est-ce qu'un émail mat ?	210
QU'EN EST-IL DES ASSIETTES ?	176	Quand un émail devient-il mat ?	210
		Autres types d'émaux mats ?	210
CHARGEMENT POUR UNE CUISSON D'ÉMAIL	177	Émaux mats et stabilité	212
GALETTES DE CUISSON ET SABLE DE SILICE ?	178	LIMITES DU DIAGRAMME DE STULL	212
		LE DIAGRAMME DE STULL SUR GLAZY.ORG	214
CUISSONS ET COURBES	178	SUBSTITUTION	214
LA CUISSON	179		
CUISSON DE SÉCHAGE	179	INFLUENCER LA TEMPÉRATURE	218
CUISSON BISCUIT	180	RÉDUIRE LA SILICE ET L'ALUMINE	218
Quelle est la température de la cuisson biscuit?	180	AUGMENTER LES FONDANTS ALCALINS	219
CUISSON DE L'ÉMAIL	182	AJOUTER DE L'OXYDE DE BORE	221
MONOCUISSON – ÉMAILAGE À CRU	183		
CUISSON DE TRANSFERT	184	LIMITES D'ÉMAIL	221
DÉCHARGEMENT	184	CONCEPTION DE NOUVEAUX ÉMAUX À PARTIR	
		D'UNE FORMULE DE SEGER	223
TRAVAIL THERMIQUE	185		
CÔNES	185	<b>CHAPITRE 8 : IDENTIFIER ET RÉSOUDRE LES PROBLÈMES</b>	<b>226</b>
Numérotation des cônes	185	PROBLÈMES LIÉS À L'ÉMAILAGE À L'ATELIER	227
Cônes : petits, grands et autoportants	186	PROBLÈMES DE VISCOSITÉ	227
Sélection des cônes	186	Mon émail ressemble à du fromage blanc	227
Placement des cônes dans le four	186	Mon émail est beaucoup trop liquide	228
Lecture des cônes	187	« HARDPANNING » OU FORMATION D'UNE COUCHE DURCIE	228
Cônes en fonction de la température	187	PROBLÈMES LORS DE L'APPLICATION AU PINCEAU	229
Interprétation des cônes et ajustements	189	MAUVAISES ODEURS	229
ANNEAUX	190	LES POTS RESTENT HUMIDES TRÈS LONGTEMPS	
Diamètre	190	APRÈS L'ÉMAILAGE	229
Détection des différences de température	190	FISSURES DANS LA SURFACE DE L'ÉMAIL AVANT	
Utilisation des anneaux	191	LA CUISSON	230
Mesure des anneaux	191		
CONCLUSION	192	PROBLÈMES LIÉS À LA CUISSON	230
		FORMATION DE BULLES	230
		EXPLOSION	231
<b>CHAPITRE 7 : POUR ALLER PLUS LOIN</b>	<b>194</b>		
INTRODUCTION À LA FORMULE DE SEGER OU UMF	195		

CASSURE	232
<b>Changements de phase de la silice</b>	<b>232</b>
<b>Pertinence pour l'argile et l'émail ?</b>	<b>233</b>
ÉMAIL COULANT	233
TEXTURE MATE POUR UN ÉMAIL BRILLANT	234
PEAU D'ORANGE ET TROUS D'ÉPINGLE	234
ABSORPTION DE L'EAU	235
<b>PROBLÈMES LIÉS À L'ÉMAIL ET À L'ARGILE</b>	<b>236</b>
PEAU D'ORANGE ET TROUS D'ÉPINGLE	236
ÉMAIL COULANT	238
RETRAIT	239
MICROFISSURES	240
ÉCAILLAGE	242
TRACES DE COUVERT	242
<b>CHAPITRE 9 : ÉMAUX DE BASE</b>	<b>245</b>
CaG	246
ZnG	247
MgG	248
BaG	249
SrG	250
CaZnG	251
CristalG	252
MgM	253
SrM	254
LiM	255
<b>ANNEXE</b>	<b>256</b>
Masse molaire des oxydes céramiques courants	256
Limites	256
Liste de courses	257
Tableau des cônes Orton	258
Tableaux à compléter	259
Méthode de la grille	263
Méthode du triangle	264
Méthode des mélanges multiples	265
Tableau de Mendeleïev	266
<b>RÉFÉRENCES</b>	<b>267</b>
<b>REMERCIEMENTS</b>	<b>269</b>



THE PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS

# LA BASE

## QU'EST-CE QUE L'ÉMAIL ?

Vous avez acheté ce livre ou vous l'avez reçu en cadeau. Vous êtes donc probablement céramiste, potier, passionné d'argile et/ou d'émail ou vous avez l'intention de le devenir. Vous avez peut-être déjà certaines connaissances, vous avez peut-être déjà émaillé ou probablement le ferez-vous bientôt. Quoi qu'il en soit, vous manipulez chaque jour de la vaisselle émaillée. Vous savez donc probablement ce qu'est un émail. Mais avant de poursuivre ce voyage, commençons par la base. Qu'est-ce que l'émail ?

### UNE COUCHE VITRIFIÉE QUI RECOUVRE LA CÉRAMIQUE

L'émail est la couche vitrifiée qui recouvre la céramique. Il est composé de trois éléments de base essentiels, présents dans des proportions précises pour pouvoir bien fondre. Sous l'effet de la chaleur, et dans des conditions appropriées, l'émail fond à la surface de la pièce et, en refroidissant, s'y fixe de manière indissociable.



### LE LIQUIDE DANS DES SEAUX OU DES POTS DANS VOTRE ATELIER

Le mot émail, également appelé glaçure, est utilisé aussi bien pour décrire la surface brillante de votre bol préféré que pour le liquide, également appelé suspension, qui se trouve dans des seaux ou des pots dans votre atelier.



### ÉMAIL, COUVERTE OU GLAÇURE ?

En fonction des ouvrages, vous trouverez les termes « émail », « couverte » ou « glaçure » – à ne pas confondre avec le glaçage, réservé à vos brioches à la cannelle ! Dans ce livre, nous avons opté pour le terme générique d'émail et laissons les autres de côté.

## POURQUOI ÉMAILLER ?

Il existe plusieurs raisons pour lesquelles on applique un émail sur la céramique.

### HYGIÈNE

Une pièce (entièrement) émaillée est hygiénique. Sa surface est plus lisse que celle de la céramique non émaillée, ce qui facilite le lavage, tant à la main qu'au lave-vaisselle. Un objet décoratif se nettoie aussi plus facilement s'il est recouvert d'une couche d'émail. La poussière et la saleté s'enlèvent plus facilement sur une surface émaillée que sur de l'argile nue.

Il existe des argiles sans chamotte (petites particules de terre cuite qui réduisent le retrait lors du séchage et augmentent la solidité) qui, même lorsqu'elles sont très bien finies, présentent encore de petits pores et de légères irrégularités. L'émail corrige ce problème. Même les émaux mats, qui ont pourtant bien plus de texture que les émaux brillants, se lavent mieux et sont donc plus hygiéniques que la céramique non émaillée.



### SOLIDITÉ

Une pièce émaillée est plus solide qu'une pièce non ou partiellement émaillée, à condition bien sûr que l'émail soit « sans défaut ». S'il y a des microfissures (voir chapitre 8 « Identifier et résoudre les problèmes »), l'effet inverse se produit.

N'émailler que l'intérieur d'un pot lui donne moins de solidité que si l'on émaille tant l'intérieur que l'extérieur.

### ESTHÉTIQUE

La raison principale pour émailler un objet est probablement d'en valoriser la beauté. Vous apportez votre propre touche esthétique, ce qui donne à l'objet une tout autre allure. Vous choisissez une ou plusieurs couleurs, éventuellement superposées. Vous pouvez aussi jouer avec des motifs tels que des rayures ou des pois. Vous pouvez même peindre avec de l'émail. Les possibilités sont infinies.

### ÉTANCHÉITÉ

Bien que l'étanchéité soit souvent évoquée comme une raison importante pour utiliser un émail, ce n'est pas l'émail qui rend un pot étanche. Ce sont l'argile et la température de cuisson qui déterminent si un objet sera étanche ou non. Un émail peut contribuer à améliorer l'étanchéité, mais il n'empêchera pas l'absorption d'eau si l'argile n'a pas été cuite à une température suffisamment élevée (voir plus loin dans ce chapitre et le chapitre 5 « Obtenir de bons résultats de façon constante »).



## TYPES D'ARGILE ET ÉMAUX CORRESPONDANTS

Lorsqu'on découvre le monde fascinant de la céramique et des émaux, on rencontre rapidement des termes comme « faïence », « grès » et « porcelaine ». On les voit sur les paquets d'argile, sur les pots d'émaux prêts à l'emploi et sur les sacs d'émaux en poudre.

Lorsque j'ai commencé à travailler dans le domaine de la céramique, ces termes étaient totalement flous pour moi. Je ne savais pas quelle argile choisir, et encore moins quel émail convenait à cette argile.

L'argile se cuit généralement deux fois. La première cuisson (cuisson biscuit ou dégourdi), transforme l'argile en céramique. La seconde, souvent à une température plus élevée, est la cuisson d'émail (également appelée cuisson lisse). C'est seulement après avoir passé des heures les mains dans l'argile – sans trop savoir laquelle d'ailleurs – que j'ai compris tout cela. Voyons plus clairement les différences entre les types d'argile.

### FAÏENCE (ARGILE OU ÉMAIL)

La faïence est une argile cuite à des températures dites « basses ». La température maximale de cuisson pour la terre de faïence est généralement de 1180 °C ou cône de fusion -ou pyrométrique- 5 (voir chapitre 6 « Fours, température et travail thermique »). Cela peut sembler élevé, mais dans le domaine de la céramique, ce n'est absolument pas le cas. En pratique, la température de cuisson de l'émail pour la faïence se situe entre 1000° C et 1180° C. De nombreux céramistes travaillent autour de 1080° C ou cône 04.



*Vase en terre de faïence rouge, cuit uniquement en biscuit, ce qui donne à l'argile initialement jaune ocre une belle couleur rouge. Cette couleur passe au rouge plus foncé après la cuisson d'émail. Plus la température de cuisson est élevée, plus la couleur s'intensifie.*

### Avantages et inconvénients

La faïence est souvent associée à la terre cuite, l'argile rouge typiquement utilisée pour les pots de fleurs. Cependant, il existe aussi des terres de faïence à cuisson blanche. La couleur d'une argile, qu'elle soit crue ou cuite, n'indique donc pas toujours sa nature. Beaucoup de vaisselle industrielle est fabriquée en faïence, car cette argile n'est pas chère et la cuisson à basse température consomme moins d'énergie.

Cependant, la faïence présente aussi quelques inconvénients : elle reste généralement poreuse après cuisson, ce qui signifie qu'elle peut absorber l'eau.

Pour la vaisselle, telles les assiettes, les tasses et les vases, cela pose problème : l'humidité peut pénétrer dans la paroi, favorisant la prolifération de bactéries et de moisissures. Cette porosité provoque aussi des auréoles d'eau sur les surfaces où l'objet est posé et peut, à long terme, entraîner l'apparition de microfissures dans l'émail.

Comparée à d'autres types d'argile, la faïence est moins solide car elle n'est que partiellement vitrifiée. La vitrification est le processus par lequel le quartz libre ou la silice (voir plus loin dans cette section) dans l'argile fond et remplit les pores entre les éléments d'argile, également appelés particules d'argile. Les particules d'argile commencent alors à fondre à leur tour et à mieux s'agglutiner, laissant très peu d'espace entre elles. Plus la température de cuisson est élevée, plus la vitrification est importante et plus le produit final est résistant. Cependant, une pièce entièrement vitrifiée devient cassante et fragile. Avec la faïence (contrairement au grès, voir ci-dessous), la frontière entre une pièce solide et une pièce extrêmement fragile est très mince. Par conséquent, la faïence n'est pas cuite jusqu'au point de vitrification et reste toujours (légèrement) poreuse et moins résistante que le grès ou la porcelaine.

### GRÈS (ARGILE OU ÉMAIL)

Le grès est généralement cuit à des températures supérieures à 1200° C, à partir du cône de fusion 5½. La plage de températures est généralement comprise entre 1200° C et 1300° C. Le grès se distingue de la faïence par sa capacité à se vitrifier (en grande partie) dans une large gamme de températures, sans devenir cassant. Le grès est donc peu poreux et absorbe peu d'eau (à condition d'être cuit à une température suffisamment élevée). Cela présente de nombreux avantages, comme décrit ci-dessus.



*Vase en grès blanc est façonné au tour de potier.*

### **PORCELAINE (ARGILE OU ÉMAIL)**

La porcelaine est une argile qui peut être entièrement vitrifiée, ce qui lui donne un aspect translucide et très blanc. En général, la porcelaine doit être cuite à des températures supérieures à 1300° C (à partir du cône de fusion 10) pour obtenir les propriétés mentionnées ci-dessus, bien que certains types soient plus susceptibles d'être cuits aux températures des grès. La plupart des émaux de grès conviennent également à la porcelaine.



*De la porcelaine liquide, également appelée porcelaine de coulage, est versée dans un moule en plâtre. Le moule est ensuite vidé, laissant une fine couche de porcelaine. Après séchage, le moule est retiré avec précaution et la pièce peut être finalisée.*

### **CONNAÎTRE SON ARGILE**

Avant de penser à émailler, il est très important de savoir avec quel type d'argile vous souhaitez travailler. Comme nous venons de le voir, l'argile détermine le type d'émail dont vous avez besoin et la fourchette de températures dans laquelle vous devez cuire. L'argile et l'émail vont de pair.

Un émail pour la faïence est un émail destiné à être utilisé sur de la terre de faïence. Il doit pouvoir fondre à des températures de cuisson basses. Un émail dont le point de fusion est trop élevé (émail de grès) ne peut pas être utilisé sur de la terre de faïence. Il ne fondra pas ou peu et donnera une pièce inutilisable. Si un tel émail fond en augmentant la température de cuisson, il en sera de même pour l'argile. Ce processus commence par la formation de cloques (voir chapitre 8 « Identifier et résoudre les problèmes ») et se termine par une coulée d'argile solidifiée dans le four. Je vous le déconseille !

Le grès a besoin d'un émail à grès qui fond dans une fourchette de températures de 1200 °C à 1300 °C. L'utilisation d'un émail pour la faïence sur du grès n'est pas non plus une bonne idée. Il fondra tellement sous l'effet des températures élevées qu'il coulera de la pièce. En outre, d'autres défauts de l'émail, tels que les trous d'épingle et les cratères, peuvent également apparaître (voir chapitre 8 « Identifier et résoudre les problèmes »).

Assurez-vous donc toujours de savoir quelle argile vous utilisez avant de commencer une cuisson d'émail !

Toutes les recettes figurant à la fin de ce livre sont des recettes pour le grès, idéalement cuites au cône de fusion 7. Cela correspond à une température comprise entre 1200 °C et 1240 °C. La température de cuisson du cône de fusion 7 dépend de nombreuses variables telles que le type de four, l'usure des résistances, la courbe de cuisson et l'isolation du four. Vous trouverez tous les détails dans le chapitre 6 « Fours, température et travail thermique ». Sauf indication contraire, la plupart des échantillons d'émail dans ce livre ont été cuits à un cône de fusion 7.

Mais assez parlé d'argile, revenons à l'émail.

## ÉLÉMENTS DE BASE DE TOUT ÉMAIL

Chaque émail se compose principalement de minéraux provenant de mines ou de carrières. Il s'agit de roches spécifiques très finement broyées. Pour comprendre les émaux, il faut se plonger dans les atomes et les molécules présents dans ces matières premières. Pratiquement tous les émaux (qu'il s'agisse de faïence, de grès ou de porcelaine) sont constitués de trois éléments de base, ou composants. Ils apparaissent dans toutes les recettes d'émail et sont donc nécessaires à leur élaboration. Pour connaître ces composants et comprendre les émaux, il faut plonger dans le monde de la chimie. Pour de nombreux amateurs de céramique, la chimie n'est pas un sujet de prédilection. Cependant, nous ne pouvons pas passer à côté.

Nous allons développer ces éléments dans ce chapitre. C'est primordial pour comprendre les matières premières qui composent les émaux. Mieux vous connaîtrez les différents composants, plus il vous sera facile de classer les matières premières et mieux vous comprendrez les

recettes d'émail. Les connaissances transmises dans ce chapitre sont essentielles pour utiliser les émaux. Alors, ne les survolez pas !

Heureusement, nous n'allons pas plonger en eaux profondes, mais plutôt nager en surface. Nous pourrions déjà y découvrir beaucoup de belles choses. Allez, suivez-moi !

## COURS ACCÉLÉRÉ DE CHIMIE POUR CÉRAMISTES

Dans les chapitres suivants, je serai obligée d'utiliser certains termes de chimie. Tout le monde n'a pas suivi de cours de chimie à l'école. Ou certains en ont eu, mais en restent aujourd'hui encore traumatisés. J'expliquerai donc certains concepts de base sans entrer dans des détails inutiles. Mon intention est d'aborder un minimum de termes essentiels pour que vous ne paniquiez pas pour les chapitres suivants.

### L'atome

Un atome, également appelé élément, est le plus petit élément constitutif du monde qui nous entoure. Le tableau de Mendeleïev, également connu sous le nom de tableau périodique des éléments, compte 118 atomes connus.

Il date de plus de 150 ans, mais est toujours d'actualité (voir la figure ci-dessous et l'annexe amovible à la fin de ce livre). J'y fais également référence dans ce livre. Sur les 118 atomes, une vingtaine sont vraiment importants pour les céramistes. Dans l'ensemble, on s'en sort bien !

Tableau de Mendeleïev

Les atomes sont toujours notés avec une lettre majuscule, parfois suivie d'une lettre minuscule. Chaque atome dispose d'un nombre atomique. Dans le tableau de Mendeleïev, les atomes sont disposés en colonnes. Ces colonnes sont appelées « groupes ». Les deux premiers groupes sont particulièrement pertinents pour les céramistes que nous sommes. Il s'agit des « métaux alcalins » et des « métaux alcalino-terreux ». D'autres groupes sont également importants. Ainsi, presque toutes les couleurs qui nous intéressent en tant que céramistes appartiennent au groupe des « métaux de transition ».

Un atome est constitué de protons, de neutrons et d'électrons. Ces derniers ont un poids négligeable par rapport aux protons et aux neutrons. Ce poids est important et est traité en détail dans le chapitre 7 « Pour aller plus loin ».

*Le calcium est un exemple d'atome de la deuxième colonne, celle des métaux alcalino-terreux. Nous l'écrivons ainsi : « Ca ».*

### **La molécule**

Pour être en équilibre, les atomes établissent des liaisons entre eux. La plupart n'étant effectivement pas stables seuls. Mais nous n'aborderons pas les types de liaisons. Ce n'est pas nécessaire pour comprendre ce livre. En revanche, il est essentiel de savoir que lorsque les atomes établissent des liaisons entre eux, des molécules se forment. Elles sont constituées de plusieurs atomes. Il peut s'agir d'atomes de même nature, généralement combinés à d'autres. Le nombre qui suit un atome décrit la quantité de cet atome dans la molécule.

*La craie, matière première de l'émail, en est un exemple. Sa formule chimique est  $\text{CaCO}_3$ . On parle de carbonate de calcium. On retrouve dans cette molécule un atome de calcium (Ca), un atome de carbone (C) et trois atomes d'oxygène (O).*

### **Le carbonate**

Les molécules se terminant par un groupe  $\text{CO}_3$  sont appelées des carbonates. Dans la chimie des émaux, il existe plusieurs matières premières qui possèdent un tel groupe.

*La craie,  $\text{CaCO}_3$ , en est un parfait exemple.*

### **L'oxyde**

Les molécules contenant un ou plusieurs atomes d'oxygène

sont appelées des oxydes. Certaines matières premières de l'émail sont déjà des oxydes, par exemple l'oxyde de zinc ( $\text{ZnO}$ ) ou l'oxyde de cuivre ( $\text{CuO}$ ). D'autres sont disponibles sous forme de carbonate, comme la craie.

Les émaux cuits sont toujours des mélanges complexes et désordonnés d'oxydes. Les matières premières qui sont au départ des carbonates, comme la craie ou le carbonate de calcium, se décomposent sous l'effet de la chaleur pour devenir :



L'oxyde de calcium  $\text{CaO}$  est le résidu de l'émail cuit. Le  $\text{CO}_2$  a quitté le four bien avant la fin du processus de cuisson (à environ 700 °C). Il s'agit du gaz à effet de serre bien connu.

### **QU'EST-CE QUE LA FUSION ?**

Avant d'examiner plus en détail les composants et les matières premières, nous devons répondre à cette question fondamentale : qu'est-ce que la fusion ?

La fusion, c'est simplement la rupture des liaisons moléculaires sous l'influence de la chaleur dans le four à céramique. L'émail est un ensemble complexe de nombreux composés chimiques différents, que vous découvrirez par la suite. Dans un émail, il n'y a pas de point de fusion unique. Un émail a une plage de fusions. Les émaux nouvellement appliqués sur une pièce commencent leur parcours dans le four sous la forme de solides poudreux. Pendant la cuisson, la viscosité (par ex. le miel est un liquide visqueux mais pas l'eau) diminue jusqu'à ce que les matières premières solides de l'émail deviennent un liquide et que, en théorie, toutes les particules solides soient dissoutes dans ce liquide. Plus les composés chimiques sont brisés sous l'influence des différents oxydes du mélange et de la chaleur du four, moins l'émail est visqueux. Mais ce dernier point est à prendre avec des pincettes. En théorie, à température maximale, les émaux sont liquides à haute température. Mais dans la pratique, ils sont surtout visqueux, beaucoup plus épais que du miel. Si on n'éteignait pas le four, l'émail continuerait à fondre jusqu'à devenir tellement liquide qu'il coulerait du pot sur la plaque du four, avec toutes les conséquences qui en découlent.

Vous trouverez ci-après un aperçu des trois composants de base qui constituent presque tous les émaux et qui, sous l'effet de la chaleur, fondent dans le four.

## UN FORMATEUR DE VERRE

Le premier composant de base d'un émail est le formateur de verre. Il a la capacité de former chimiquement du verre. Le verre est un solide non cristallin. Il s'agit d'un amalgame de molécules chimiquement désorganisées (non cristallines, ou amorphes) qui n'ont pas eu le temps de se réorganiser proprement en un réseau cristallin au cours du refroidissement. Le verre est donc créé par le refroidissement « rapide » d'un liquide très visqueux en un solide.

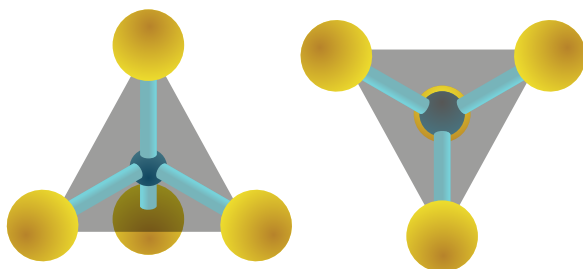
Il existe de nombreux types de verre, mais pour les émaux, seuls deux formateurs de verre sont vraiment importants. Il s'agit de la silice ( $\text{SiO}_2$ ) et du bore ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ). La silice (également appelée quartz) est le formateur de verre primaire. C'est-à-dire qu'elle est toujours présente dans un émail. La présence du bore est possible mais facultative. Nous y reviendrons plus loin dans ce chapitre.

Le formateur de verre est primordial dans un émail. Sans formateur de verre, il n'y a pas de verre et donc pas d'émail. Il n'est donc pas possible de fabriquer des émaux sans ajouter ce composant.

### La silice

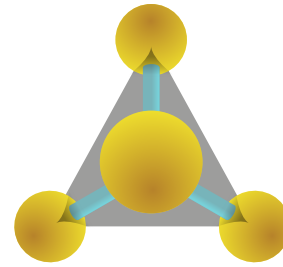
La silice (ou le quartz) est le principal constituant du verre dans les émaux. Chimiquement, nous écrivons le quartz :  $\text{SiO}_2$ . Soit un atome de silicium lié à deux atomes d'oxygène. Cette molécule n'existe pas telle quelle dans la nature.

Le silicium est un petit atome qui a de l'espace pour se faire entourer de quatre atomes d'oxygène. Ceux-ci entourent pour ainsi dire le petit silicium et s'installent autour. La molécule ainsi formée s'appelle un tétraèdre de silice et ressemble à une pyramide avec les atomes d'oxygène aux angles et l'atome de silicium bien caché au centre.



VUE DE FACE

VUE DU DESSOUS



VUE DU DESSUS

*Structure 3D d'un tétraèdre de silice avec quatre atomes d'oxygène (de couleur jaune) entourant un atome de silicium plus petit (de couleur bleue). Cette forme pyramidale à base triangulaire est l'élément de base du quartz. Il n'existe pas sous cette forme dans la nature, car il n'est pas stable. En effet, les atomes d'oxygène ont encore de la place pour se lier à un autre atome approprié.*

Cependant, ces atomes d'oxygène ne se contentent pas d'un seul atome de silicium. En fait, ils peuvent chacun accueillir deux amis au lieu d'un seul. Ils recherchent donc un autre atome de silicium auquel se lier. Et celui-ci recherche à son tour trois autres atomes d'oxygène. La structure 3D de la silice est donc vaste et complexe.

La situation décrite ci-dessus est celle du quartz non fondu, qui s'est organisé de manière ordonnée en un réseau cristallin. Quand on la chauffe dans un four à céramique, la silice, tout comme les autres matières premières composant l'émail, passe de l'état solide à l'état liquide. Dans ce liquide épais, les liaisons entre les molécules sont rompues et aucune structure moléculaire spécifique ne peut plus être distinguée. Un émail refroidi est un réseau désorganisé d'atomes de silicium et d'atomes d'oxygène (dans lequel se trouvent encore de nombreux autres atomes et molécules, tels que les fondants et le stabilisateur, voir plus loin dans ce chapitre). Et c'est précisément ce chaos qui est important dans la définition du verre et de l'émail ! Lors de la cuisson, de plus en plus de particules de matières premières fondent dans l'émail. Dans un monde idéal, à température maximale, elles sont toutes en solution. Mais en refroidissant, le mélange devient rapidement si épais et visqueux que les atomes n'ont pas le temps de se réorganiser proprement en un joli réseau cristallin, comme avant la cuisson. S'ils y parvenaient, ils ne formeraient pas du verre mais un cristal. Cette structure amorphe et chaotique du quartz après refroidissement signifie que le verre de quartz possède les propriétés d'un liquide tout en étant un solide.

Le quartz (ou la silice) est présent en abondance dans la croûte terrestre. Environ 27 % de la surface de la Terre est constituée d'une forme ou d'une autre de silicium. On la trouve dans de nombreux minéraux et roches.

Comme les émaux sont principalement composés de petits morceaux de roche broyés, on retrouve également de la silice dans de nombreuses matières premières utilisées pour les émaux. Vous en obtenez souvent dans votre recette d'émail en ajoutant certaines matières premières. L'analyse chimique d'une matière première permet d'identifier la présence de silice, le formateur de verre. Nous y reviendrons plus tard (voir chapitre 7 « Pour aller plus loin »).

La silice pure ou le quartz a un point de fusion élevé d'environ 1700 °C. Si vous possédez un four à céramique, voyez jusqu'à quelle température vous pouvez le régler. Il vous manquera facilement 400 °C pour pouvoir faire fondre la silice sous sa forme pure.

#### **L'oxyde de bore**

Comme mentionné brièvement ci-dessus, outre la silice, qui est le principal formateur de verre, il en existe un autre : l'oxyde de bore. En chimie, nous l'écrivons :  $B_2O_3$ . L'oxyde de bore est différent de la silice, car il peut fondre à une température beaucoup plus basse (570 °C - 600 °C). Par conséquent, ce formateur de verre possède d'importantes propriétés de diminution du point de fusion. Il est également appelé formateur de verre de basse température.

L'oxyde de bore est souvent utilisé pour fabriquer des émaux pour le grès dans la tranche inférieure de la gamme des grès (1200 °C - 1230 °C). Il est également très utile dans les émaux pour la faïence. Ceux-ci utilisent généralement l'oxyde de plomb, toxique, un excellent agent de fusion. L'oxyde de bore remplace de plus en plus le plomb dans les émaux pour la faïence. On obtient ainsi un émail qui fond à la température de la faïence.

L'oxyde de bore sera rarement, voire jamais présent dans les émaux pour le grès classiques à haute température ou dans les émaux pour la porcelaine. Ces émaux fondent en effet suffisamment sous l'influence de températures élevées (1280 °C - 1300 °C), sans ajout d'oxyde de bore. Il serait donc redondant. De plus, il causerait des défauts tels que des coulures (voir chapitre 8 « Identifier et résoudre les problèmes ») et rendrait l'émail moins solide, moins résistant et moins durable.

## **UN STABILISATEUR**

### **L'alumine**

Le stabilisateur est un second composant présent dans presque tous les émaux. Le seul stabilisateur est l'oxyde d'aluminium ( $Al_2O_3$ ), généralement appelé alumine. L'alumine est nécessaire dans la plupart des émaux. Elle augmente la viscosité de l'émail à haute température, l'empêchant de couler du pot pendant la cuisson. Par ailleurs, l'alumine joue aussi un rôle clé dans la dureté des émaux. Avec la silice, elle forme un réseau dans l'émail. L'alumine est aussi appelée « intermédiaire » dans le jargon professionnel.

L'alumine a un point de fusion incroyablement élevé d'un peu plus de 2000 °C.

## **UN FONDANT**

Le troisième et dernier composant nécessaire à la création d'un émail est le fondant. Le fondant baisse le point de fusion d'un émail afin qu'il puisse fondre à des températures atteignables dans les fours à céramique. Comme vous l'avez lu précédemment, pour la plupart des émaux, les températures se situent entre 1000 °C et 1300 °C. La complexité réside toutefois dans le fait qu'il existe de nombreux réducteurs de point de fusion différents, qui se divisent en deux grands groupes.



Lithium  
3  
Li  
6,94

### Les métaux alcalins

Le premier groupe de fondants sont les métaux alcalins, qui se trouvent dans la première colonne du tableau périodique des éléments ou tableau de Mendeleïev.

Sodium  
11  
Na  
22,990

Lorsque les métaux alcalins se combinent avec l'oxygène, ils sont appelés des oxydes. Les céramistes appellent souvent les métaux alcalins le groupe  $R_2O$ , où R peut représenter n'importe quel atome. Dans ce groupe, deux atomes du groupe des métaux alcalins sont toujours liés à un atome d'oxygène. Les métaux alcalins sont les fondants les plus puissants, car ils réagissent très facilement avec l'oxygène et cherchent à se lier

avec cet atome. Pour ce faire, ils rompent des liaisons, telles que celles entre le silicium et l'oxygène, afin de conserver les atomes d'oxygène. La rupture des liaisons chimiques sous l'effet de la chaleur est appelée la fusion.

Trois métaux alcalins intéressants pour les céramistes :

- > l'oxyde de lithium ( $Li_2O$ )
- > l'oxyde de sodium ( $Na_2O$ )
- > l'oxyde de potassium ( $K_2O$ )

Dans un émail, ceux-ci sont parfois utilisés séparément ou simultanément. L'oxyde de lithium est un produit rare et très recherché, car il est notamment utilisé dans l'industrie des batteries. Il s'agit donc d'un métal alcalin coûteux. Il possède des propriétés très puissantes de réduction du point de fusion. Les deux autres métaux alcalins, l'oxyde de sodium et l'oxyde de potassium, sont plus courants et donc moins chers. Ils sont également d'excellents fondants. L'utilisation excessive d'oxyde de sodium et de potassium peut favoriser l'apparition de craquelures (un défaut d'émail, voir chapitre 8 « Identifier et résoudre les problèmes »).

Un ou plusieurs fondants  $R_2O$  sont ajoutés dans presque tous les émaux. C'est nécessaire pour amorcer la fusion de l'émail sans augmenter la température.

Magnésium  
12  
Mg  
24,305

Zinc  
30  
Zn  
65,38

Calcium  
20  
Ca  
40,078

### Les métaux alcalino-terreux

Le deuxième groupe de fondants est celui des métaux alcalino-terreux, qui se trouve dans la deuxième colonne du tableau de Mendeleïev. Ces métaux alcalino-terreux sont également appelés fondants RO, car un atome (R) se lie toujours à un atome d'oxygène.

Strontium  
38  
Sr  
87,62

Les fondants RO sont essentiels dans une recette d'émail. Ils sont généralement moins puissants que les métaux alcalins et ne participent à la fusion qu'à partir d'une température plus élevée. Les métaux alcalino-terreux déterminent en grande partie l'expression d'une couleur (issue d'un oxyde colorant, voir plus loin dans ce chapitre) dans un émail. En fonction

du métal alcalino-terreux utilisé, ou de sa combinaison, vous obtiendrez une couleur d'émail distincte. Même en utilisant des oxydes colorants identiques en quantités similaires, les émaux contenant différents métaux alcalino-terreux auront un aspect différent. Des exemples sont abordés plus loin dans ce chapitre, sous la rubrique « La vie en couleurs ».

Quatre métaux alcalino-terreux intéressants pour les céramistes :

- > l'oxyde de calcium ( $CaO$ )
- > l'oxyde de magnésium ( $MgO$ )
- > l'oxyde de baryum ( $BaO$ )
- > l'oxyde de strontium ( $SrO$ )

L'oxyde de béryllium ( $BeO$ ) appartient également à ce groupe. Comme il est très toxique, il est rarement utilisé et ne sera donc pas abordé dans ce livre.

Les céramistes aiment aussi ajouter l'oxyde de zinc ( $ZnO$ ) à la liste des fondants RO. D'un point de vue chimique, il ne s'agit pas d'un métal alcalino-terreux, mais d'un métal de transition. L'oxyde de zinc utilisé dans les émaux a toutefois un effet similaire à celui des métaux alcalino-terreux. C'est pourquoi il est souvent classé dans le même groupe.

L'oxyde de plomb (PbO) est également classé parmi les fondants RO. Il s'agit d'un fondant très puissant, apprécié par le passé dans les émaux pour la faïence. C'était idéal pour faire fondre ces émaux à basse température. Hautement toxique à l'état pur, l'oxyde de plomb ne peut désormais plus être vendu. Il est encore utilisé dans les émaux sous forme de frites (voir plus loin dans ce chapitre). Les céramistes et potiers qui font des pièces utilitaires ne l'utilisent que très peu en raison d'une réglementation stricte. Il existe de bonnes alternatives au plomb comme fondant puissant, par exemple l'oxyde de bore. Je le mentionne afin de donner des informations complètes, mais je ne l'utilise pas dans les recettes d'émail.

Les métaux alcalino-terreux sont d'importants fondants et au moins un d'entre eux est présent dans toute recette d'émail. Un émail se compose généralement de fondant(s)  $R_2O$  et RO.

### Point eutectique

La diminution de la température de fusion d'un émail sous l'influence de fondants est un processus non linéaire. L'ajout d'un fondant ne permet donc pas d'abaisser le point de fusion d'un émail. Ce serait simple, mais la réalité est malheureusement plus complexe. Pour obtenir un point de fusion optimal (à savoir, le plus bas possible), il convient d'avoir un rapport idéal entre le formateur de verre, le stabilisateur et le fondant. Ce point optimal est appelé point eutectique. Le point eutectique peut être inférieur au point de fusion des différentes matières séparées. Prenons un exemple simple pour y voir plus clair.

*Supposons que nous fassions un mélange de silice et d'alumine, le formateur de verre et le stabilisateur. Toutes deux ont des points de fusion extrêmement élevés de 1710 °C et 2027 °C, respectivement. Si nous les combinons dans un rapport de 90 % de silice et 10 % d'alumine, nous atteignons le point eutectique de ces deux oxydes. Il se trouve à 1545 °C. Cela reste élevé, mais beaucoup moins que les deux oxydes séparés !*

L'exemple ci-dessus ne produit pas d'émail utilisable. Un point de fusion de 1545 °C n'est pas atteignable dans un four à céramique classique. Le point eutectique d'un mélange d'émail peut être obtenu en ajoutant les composants d'un émail (formateur de verre, stabilisateur et réducteur du point de fusion) dans un rapport approprié.

Les points eutectiques à trois composants sont représentés dans les diagrammes de phase (voir figure). Il s'agit de représentations graphiques complexes en forme de triangle. Chaque sommet représente une matière, par exemple le formateur de verre silice ( $SiO_2$ ), le stabilisateur alumine ( $Al_2O_3$ ) et le fondant oxyde de calcium (CaO). Le rapport entre ces trois composants est indiqué dans un tel diagramme de phase, ainsi que le point de fusion de la matière formée dans ce rapport.

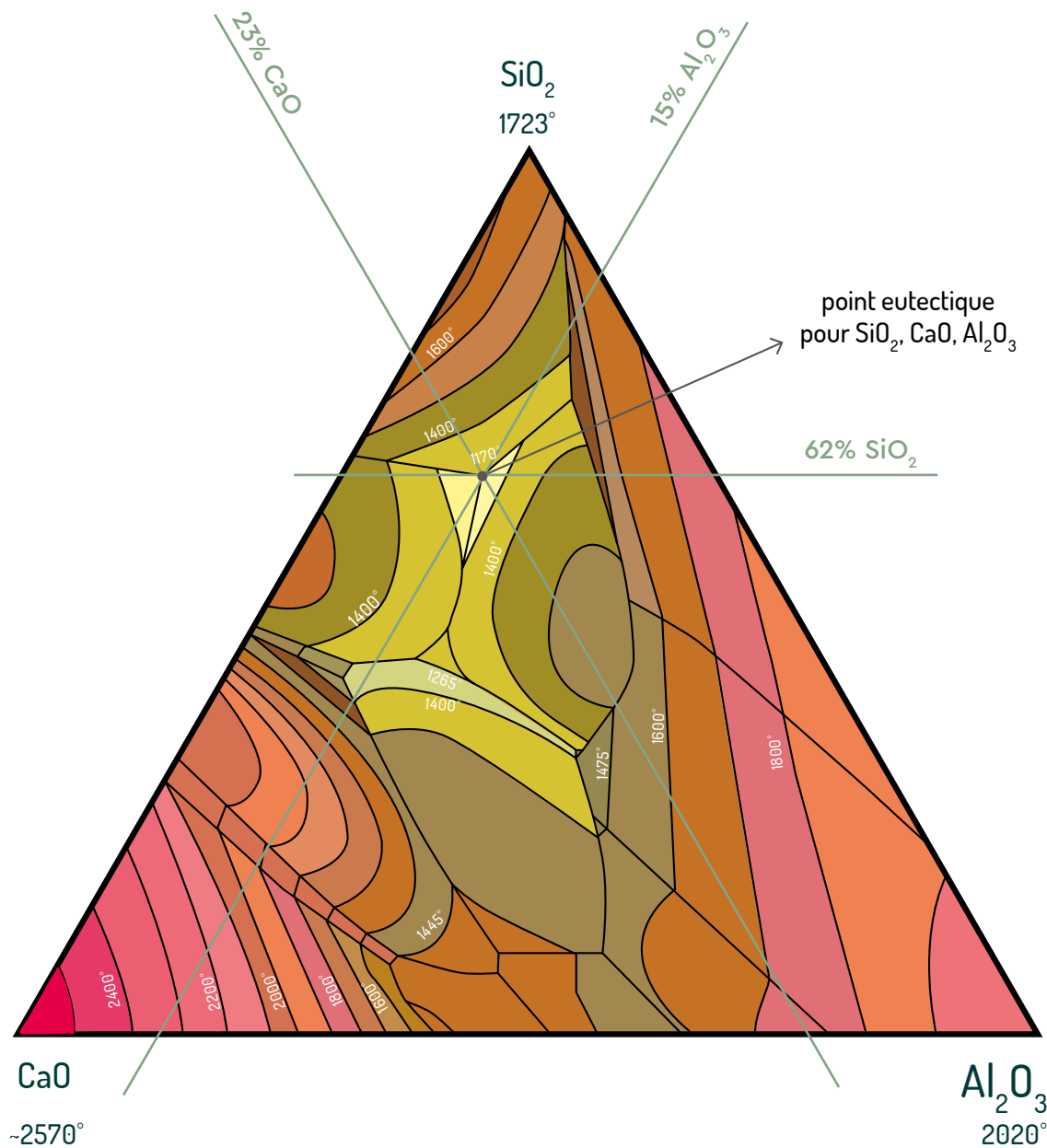
*Le point eutectique des trois composants ( $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  et CaO) de notre exemple se situe à 1170 °C. Pour atteindre ce point de fusion, 62 % de silice, 15 % d'alumine et 23 % de calcium sont nécessaires. L'ajout d'oxyde de calcium n'abaissera pas le point eutectique, bien au contraire ! Ces trois composants réunis ne peuvent pas fondre à une température inférieure à 1170 °C. En ajustant les rapports entre les trois, on obtient toujours un point de fusion plus élevé.*

Les diagrammes de phase avec seulement trois composants sont déjà complexes. Un véritable émail, qui contient généralement plusieurs fondants et parfois plusieurs formateurs de verre, est beaucoup plus complexe que l'exemple ci-dessus. Rassurez-vous, un diagramme de phase peut être amusant à étudier pour les « intellos de l'émail », mais en pratique, vous n'en avez pas besoin pour développer de beaux émaux.

Ce qu'il faut retenir des eutectiques :

- > il ne s'agit pas d'un processus linéaire
- > le point eutectique peut être inférieur au point de fusion des différents composants

Notez que le terme « fondant » est légèrement trompeur. Comme nous l'avons vu dans l'exemple ci-dessus, la silice et l'alumine peuvent affecter et réduire considérablement le comportement de fusion de l'une et de l'autre. Il convient donc de trouver l'équilibre entre tous les composants d'un émail, car ils jouent tous un rôle important. L'ajout de petites quantités d'oxyde colorant ou de pigment (voir chapitre 7 « Pour aller plus loin » et ci-après dans ce chapitre) peut affecter le point de fusion d'un émail.



Exemple simplifié d'un diagramme de phase avec 100 % de silice ( $\text{SiO}_2$ ), d'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) et d'oxyde de calcium ( $\text{CaO}$ ) aux sommets. Les lignes représentent les températures auxquelles un mélange contenant une certaine proportion de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et  $\text{CaO}$  fondra. Le point eutectique de 1170 °C est indiqué. Ce point de fusion le plus bas est atteint avec un ratio de 62 % de silice, 15 % d'alumine et 23 % d'oxyde de calcium.