

L'élément

Cuivre

dans

les glaçures

(1250 - 1320°C)

*Introduction à une pratique
expérimentale
des
glaçures
(troisième partie)*



Alain Valtat



Évelyne Valtat-Faudemer Fresque de l'atelier

Les céramiques et les photographies sont de l'auteur
(Sauf indication contraire)

ISBN 2-9517488-3-3
EAN 9782951748835

Tous droits de traduction, reproduction et adaptation réservés

Sommaire

Avant-propos	4
Les rouges de cuivre	7
<i>Des protocoles de cuisson.</i>	9
Protocoles recueillis.	9
Quelques invariants.	10
Mes protocoles de cuisson.	11
Une courbe de cuisson.	12
Le suivi du développement de la couleur.	13
<i>Comparaison des recettes de rouges.</i>	15
Remplacer la formule de Seger pour mieux comparer ?	15
Quelques rouges.	18
Comparaison des rouges de départ.	22
Remarques et questions suggérées par la comparaison.	23
<i>Les facteurs de composition</i>	25
Les colorants du rouge.	25
Le cuivre et l'étain.	25
Les différentes formes de cuivre employées.	26
Développement par le fer ou par l'étain ?	29
Addition d'oxyde de fer dans un rouge.	30
Addition d'oxyde de titane dans un rouge.	31
La silice et l'alumine.	32
Variation sans utilisation de fritte.	32
Variation en utilisant une fritte alcaline.	34
Les matières autres que les colorants, la silice et l'alumine.	36
Le bore.	36
Les alcalins.	38
Les alcalino-terreux.	39
La substitution d'alcalin par le calcium.	42
<i>Quelques éléments théoriques.</i>	43
Origine de la couleur.	43
Les composés cupriques courants.	43
Les transformations possibles.	43
L'apport de la microscopie et l'expérience des verriers.	44
Le développement des cristaux de cuivre métallique.	45
Les rouges des céramistes.	46
Les recuissons.	46
<i>Un rouge sans formules.</i>	47
Table des illustrations	48

Les bleus de cuivre	65
<i>Les premières informations</i>	66
Un bleu-vert de Greg Daly	66
Recherche du point de départ d'une exploration	67
<i>La substitution baryum / calcium et la concentration du cuivre</i>	68
Description des essais	68
Conclusions et nouveau point de départ	69
<i>La variation silice / alumine</i>	70
Définition de la zone explorée	70
<i>Un bleu au lithium</i>	72
Deux recettes au lithium	72
<i>Introduction simultanée du baryum et du lithium</i>	74
La zone explorée	74
<i>Quelques bleus comparés</i>	76
Les bleus	76
La comparaison	79
Caractéristiques des bleus	80
Autres couleurs du cuivre	80
<i>Glaçures pouvant développer des couleurs</i>	82
Protocole d'essais	82
Glaçures alcalines	82
Au sodium	82
Au potassium	83
Au lithium	83
Mixtes	84
Glaçures alcalino-terreuses	84
Au calcium	84
Au baryum : l'eutectique	84
Au magnésium	86
<i>Un regard sur les possibles</i>	88
Des noirs	88
Noirs dans le carré calcium / baryum et cuivre	88
Noir dans un émail mat calcique	88
Noirs dans le carré lithium / baryum	89
Noir de Stolzenfeld d'après Matthes adapté	89
Recherche d'invariants	90
Des verts	90
L'atmosphère de cuisson	90
Les compositions développant les verts	90
Conclusion	93
Sélection d'ouvrages sur la céramique	94
Quelques sites Internet consacrés à la céramique	95

AVANT-PROPOS

Avec les céladons, les bleus ou les gouttes, nous sommes dans un domaine exploré, codifié, publié : nous savons ce que nous cherchons et il existe une documentation sur le sujet. Avec le rouge de cuivre la situation est analogue, mais agrémentée par une histoire de redécouverte digne de littérature policière.

Il en va tout autrement lorsqu'une glaçure naît simplement de l'envie d'évoquer une matière, une texture voire un sentiment. On cherche alors à trouver l'émail qui fera immédiatement penser au pétale du coquelicot, au scintillement de la neige au soleil, à la chaleur des sables du désert ou à la solitude. Dans ce cas nos références ne sont plus historiques mais simplement personnelles et aucune publication ne viendra à notre secours pour résoudre les problèmes pratiques que ne manquera pas de poser la réalisation d'une telle glaçure.

Entre ces deux extrêmes nous trouvons par exemple les bleus de cuivre peu connus, mal codifiés et quasiment ignorés des publications céramiques. Pourtant ces bleus ont été produits par Alain Gaudebert, Nanouk-Anne Pham ou d'autres céramistes, nous les aurons vus à l'occasion d'expositions, mais les informations sur leur obtention et celle de leurs multiples nuances ne seront pas réellement disponibles.

L'envie de réaliser ne suffit pas, il nous faut des méthodes de recherche rigoureuses si nous voulons parvenir à nos fins après de multiples travaux et de multiples échecs. Cependant, il semble bien impossible de trouver "la" démarche "universelle" dans la mesure où, comme je l'évoquais précédemment, les objectifs poursuivis et le cadre de recherche peuvent être d'une extrême diversité.

Pour illustrer mon propos, je voudrais relater mon approche du rouge de cuivre. Avec mon vieux four à bois je cuisais moins de cinq fois par an. Lorsque j'ai construit, en 1981, un four de 200 litres, au propane, en fibres céramiques, j'ai un peu augmenté le nombre de mes cuissons dans l'année. Les conditions de reproductibilités des cuissons ont été très largement améliorées, c'est à ce moment là seulement que je me suis mis à travailler les émaux avec un peu de sérieux.

Céladon et rouges sont alors devenus des objectifs quasi-obsessionnels. Les préparations de recettes trouvées dans les meilleurs livres (ils n'étaient pas nombreux) et les cuissons espacées m'ont permis de réaliser quelques rouges convenables (en particulier sur les plaques) ainsi que des céladons trop brillants mais bien réduits. En notant les réglages, je parvenais parfois à reproduire une cuisson, mais je n'avais que des repères, pas de lois, pas de "théorisation" de la cuisson. Le temps qui s'écoulait entre deux utilisations du four pouvait aller d'une semaine à six mois et même oire n'ayant jamais été bonne, j'avais souvent oublié toutes les remarques de l'expérience précédente qui n'avaient pas été écrites. De plus, par souci d'économie et de diversité, je tentais de cuire à la fois des céladons, des rouges et des bleus de fer, sans oublier quelques autres glaçures nouvelles. Le tableau était sombre : je ne sortais pas d'une sorte de cauchemar lié à la difficulté apparente du problème à résoudre et au sentiment d'une perte d'information et d'investissement due à la dispersion. Je poursuivais un trop grand nombre de problèmes mal identifiés à la fois et avec trop peu de concentration.

L'entement j'ai commencé à élaborer une stratégie. Il fallait en premier lieu formuler les problèmes, ensuite, tenter de trouver des méthodes de résolution. Je pourrais résumer ainsi les règles adoptées (mais jamais complètement suivies) à ce moment là pour tenter d'avancer **dans le domaine de la cuisson** :

- Partir d'une recette sûre (si c'est possible).
- Cuire un seul type de glaçure à la fois.
- Tout noter (ce n'est pas toujours évident) .

- *Se rappeler le maximum de choses et pour cela ne pas disperser les cuissons dans le temps : cuire tous les jours par exemple pendant une semaine ou plus afin d'être complètement immergé dans une dynamique de recherche.*

- *Émettre des hypothèses et les vérifier aussitôt pour commencer à théoriser à partir de l'observation et de l'expérience.*

- *Tenter de formuler des lois empiriques (c'est à dire tirées de l'expérience, et non pas fantaisiste comme on le croit parfois).*

Cette méthode s'est avérée assez efficace dans la mesure où j'avais une documentation sérieuse sur les glaçures et leur mise en œuvre : au terme d'une semaine, le protocole de cuisson était assez maîtrisé pour que j'obtienne du rouge chaque fois, cependant, je n'obtenais pas toujours le type de rouge recherché, mais je dois dire que dans ce domaine, il me reste toujours à progresser.

Je veux évoquer à présent une situation très différente, celle des bleus de cuivre. Nous ne pouvons pas partir d'une recette vérifiée, les protocoles de cuisson ne sont décrits nulle part à tel point qu'on entend dire qu'ils se réalisent en oxydation pour les uns, en réduction pour les autres. Il nous faut inventer une autre voie : recueillir des informations, faire des déductions, émettre et vérifier de multiples hypothèses, réorienter la recherche en fonction des connaissances acquises et si on ne trouve pas le bleu de cuivre escompté, on trouvera sans aucun doute d'autres bleus intéressants et personnels. Dans ce cas précis du bleu de cuivre, après avoir choisi une cuisson oxydante à 1300°C (qui me paraissait *a priori* la plus logique), j'ai formulé l'hypothèse que ce bleu serait lié au cuivre, bien entendu, mais aussi au baryum (idée suggérée par la lecture des expériences conduites par Greg Daly). La chance a voulu que je trouve des bleus à la première cuisson d'essais qui faisait varier à la fois le cuivre et le baryum. Il suffisait ensuite de travailler sur les paramètres habituels de composition. J'ai trouvé les recettes de Georges Lantéri sur Internet par la suite, elles ont été confirmées par celles que Nanouk-Anne Pham m'a très aimablement transmises alors que ma recherche était déjà bien avancée. Aurais-je pu aboutir si je n'avais pas eu l'hypothèse du baryum ? Ça aurait été plus long, cependant, dans la mesure où j'ai pris l'habitude d'essayer systématiquement les colorants avec des glaçures de base au calcium, au magnésium, au baryum, au lithium (il est favorable aux bleus de cuivre), au sodium et au potassium, le bleu de cuivre au baryum aurait difficilement pu m'échapper, mais au bout de combien de temps ?

La situation de recherche la plus complexe : la création d'une glaçure pouvant évoquer la plume de hibou, les ruines du 11 septembre, le pelage de la belette sur fond de glace représente un autre ordre de difficultés. Ce type d'email nécessite une connaissance très approfondie des propriétés des matières premières, de leurs interactions et naturellement des protocoles de cuisson. À ce niveau, il n'y a plus que des démarches personnelles inventives.

Il me semble que la chance, lorsqu'on cherche, c'est de savoir ce qu'on cherche : le point de mire est fixé, même si la voie n'est pas tracée. La malchance lorsqu'on cherche, c'est aussi de trop bien savoir ce qu'on cherche : les sens s'interdisent de saisir au passage quelques merveilles. C'est ainsi qu'en cherchant les rouges de cuivre, on oublie les verts, les jaunes et les noirs qui sont alors le symbole de l'échec. Les planches d'essais ont une vertu, celle de constituer une mémoire de notre cheminement, en les relisant, nous y trouvons des trésors ignorés lorsqu'ils sont sortis du four, trop tendus que nous étions vers un but trop bien identifié.

CHAPITRE 14

LES ROUGES DE CUIVRE

Pourquoi les céramistes de la deuxième moitié du dix-neuvième siècle ont-ils été fascinés par les rouges de cuivre ? La mode de l'Orient peut-elle expliquer à elle seule cet acharnement des grandes manufactures, mais aussi des potiers et sculpteurs indépendants, à retrouver cette matière millénaire ? Sera-t-il plus facile de savoir pourquoi les émailleurs d'aujourd'hui poursuivent toujours aussi inlassablement cette même quête du rouge ?

Il est difficile de connaître ce qui pousse vers une recherche, on pense à l'argent, au pouvoir, au plaisir, au besoin de reconnaissance, à l'orgueil.... Si c'était la difficulté ? Si c'était l'envie de savoir ?

Cette recherche a deux caractéristiques importantes et peu habituelles : le but en est parfaitement connu (le rouge de cuivre) et elle concerne un objet parfaitement inutile (le rouge de cuivre). Ce paradoxe nous conduit à penser que nous sommes plus dans le jeu, dans le défi et dans la séduction que dans la nécessité.

De nombreux céramistes contemporains ne se sentent pas concernés, ils ont d'autres projets, d'autres mirages tout aussi fous mais plus personnels, ils ont autre chose à dire, à crier peut-être. En effet n'est-ce pas parfaitement futile de produire des vases rouges alors qu'on en trouve des milliers sur le marché ? Qu'est-ce que je peux exprimer à travers la production d'un rouge ? Puis-je commenter l'actualité, dire mon plaisir ou ma détresse ? Puis-je singer la nature ou la célébrer ?

Malgré tout, il reste un carré d'irréductibles, on pense à Chapallaz, à Duroselle, à Uzan, à Girel et à bien d'autres, en particulier ceux qui avaient participé à l'exposition du Musée Palissy en 2001. Pour eux, il semble que le rouge soit une évidence, devraient-ils la justifier ? Par ailleurs, pour de nombreux potiers, le rouge demeure le chef-d'œuvre (au sens du compagnonnage), la preuve qu'on appartient à la corporation, il a donc, à leurs yeux, une valeur symbolique forte.

En ce qui me concerne, une partie de fascination de cette matière vient de sa multiplicité, il n'y a pas un rouge, mais une infinité de rouges, même si l'éclat et la transparence du rubis restent la référence absolue. Cette glaçure au cuivre permet d'évoquer aussi bien le sang de boeuf et le foie de mule (version macabre) que le coquelicot et l'oeillet sauvage (version bucolique). Il sera pour moi tantôt le jus de mûre ou de cerise Burlat, tantôt le chapeau de l'amanite ou le pétale de rose anglaise, si bien qu'il me prend parfois l'envie stupide de le humer, voire de le goûter.

Quand la sensualité du rouge est au rendez-vous, il est rare qu'elle ne soit pas due également à d'innombrables nuances : un léger coup de feu, un passage de flamme et le rouge se dilue pour ne plus apparaître que sous la forme de quelques filaments aussi ténus que vifs ; un grain de carbonate fait fleurir une auréole verte centrée de noir métallique ; un verre un peu fluide et c'est alors un dégradé de nuances partant à la lèvre d'un blanc pur, suivi au cours de la descente de la naissance puis de l'amplification de la couleur qui se poursuit jusqu'à la base dans la saturation.

Les émailleurs sont fous de couleurs, de nuances, de matières, comment pourraient-ils ne pas être obsédés par le rouge ?



Des protocoles de cuisson

La cuisson des rouges de cuivre, voilà bien là une difficulté essentielle rencontrée par les céramistes : les recettes existent, certaines ont été publiées, elles donnent presque toutes du rouge, pour peu qu'on ait préparé les suspensions avec soin, qu'on les ait bien posées et bien cuites.

Protocoles recueillis

Voici quelques méthodes de cuisson relevées dans des revues, dans des livres et sur Internet au cours de mes lectures (l'ordre chronologique des publications n'est pas respecté)

Dans *La Revue de Céramique* N°1 page 29, un article de Max Deschamps donne à la fois les formules limites, une formule aboutie de rouge et deux protocoles :

Protocole de Max Deschamps 1 :

Température de fin de cuisson : 1280°C

Durée de cuisson : 12h

Atmosphère : fortement réductrice à partir de 1000°C.

Protocole de Max Deschamps 2 :

Température de fin de cuisson : 1280°C

Durée de cuisson : 6h

Atmosphère : moyennement réductrice à partir de 800°C et une période de 15 min oxydante à 1250°C.

L'Atelier des Métiers d'Art N° 1 de septembre 1975 proposait un article de Colette Save intitulé *Le secret du rouge chinois*, cet article très documenté donnait la parole à Pierre Fouquet, Claude Champy et Bernard Dejonghe, il faisait également référence à Rhodes et à Seger, voici les protocoles évoqués :

Protocole de Pierre Fouquet :

Température de fin de cuisson : 1280°C / 1300°C

Atmosphère : Oxydation jusqu'à 980°C, réduction jusqu'à 1220°C, forte réduction entre 1220°C et 1240°C, neutralité jusqu'à 1260°C puis oxydation jusqu'à la fin.

Protocole de Claude Champy :

Température de fin de cuisson : 1280°C

Durée de cuisson : 13h environ

Atmosphère : Oxydation jusqu'à 800°C, réduction presque jusqu'à la fin avec des réductions plus fortes entre 800 et 900°C, vers 1100 et 1200°C, fin en oxydation.

Protocole de Bernard Dejonghe :

Température de fin de cuisson : 1300°C

Durée de cuisson : 21h

Atmosphère : première réduction entre 800 et 900°C (forte fumée noire) puis alternance d'oxydations et de réductions ou réduction légère et régulière jusqu'à la fin.

Protocoles de Rhodes :

Température de fin de cuisson : 1260°C

Atmosphère : réduction modérée

ou oxydation jusqu'à la température de nappage puis refroidissement réducteur jusqu'au rouge sombre

ou montée neutre puis forte réduction au nappage et refroidissement "normal".

Protocole de Seger :

rapporté par Vogt (1906)

Réduction jusqu'à la fusion de l'argent puis alternance 5 min de réduction suivies de 2 min d'oxydation jusqu'à la "demi-fusion" de la couverte puis oxydation jusqu'à la cuisson complète.

Dans le *catalogue de l'exposition Dalpayrat* à la Fondation Neumann de Gingins, Jean Girel a écrit un chapitre intitulé *Le rouge Dalpayrat et les mystères du cuivre*, il fait référence aux résultats publiés par Lauth et Dutailly en 1888 dans *Recherches sur les rouges de cuivre, les flamés et les céladons*. Ces céramistes donnent une interprétation de l'origine du rouge et une méthode optimale de cuisson.

Protocole de Lauth et Dutailly :

Réduction très forte par des gaz au rougissement du four, puis réduction moins importante pendant la montée en température et fin de cuisson en atmosphère réductrice ou neutre. Refroidissement assez rapide pour éviter la volatilisation de la couleur et la réoxydation.

Jacques Datcharry dans *Compréhension et maîtrise des glaçures, des fours et des cuissons aux températures de grès 1280°* donne page 124 des indications sur la cuisson de ses rouges

Protocole de J. Datcharry :

Température de fin de cuisson : 1280°C

Cuisson rapide sans palier

Atmosphère réductrice jusqu'à 1000°C (la couleur étant acquise à ce stade), suite neutre ou légère oxydation.

Selon la force de la réduction on obtient différents rouges, la couleur rubis étant obtenue avec une réduction très faible.

De nombreux sites Internet décrivent des protocoles de cuisson, je ne citerai que celui de **Smart** qui a présenté un article de Georges Lantéri sur divers émaux de haute température.

Protocole de G. Lantéri :

Température de fin de cuisson : 1280°C

Montée à 1000°C en oxydation en 4h, puis réduction forte pendant 3h jusqu'à 1280°C, 5 min de palier puis fermeture du registre.

Quelques invariants

Il nous sera tout de même difficile de croire que tous ces protocoles sont compatibles entre eux pour les mêmes glaçures, cependant on peut dégager quelques règles :

- Réduction à partir de 900°C.
- Montée assez rapide.
- Possibilité d'une oxydation après le nappage.
- Peu ou pas de palier de fin.
- Refroidissement assez rapide.
- Une réduction modérée semble plus adaptée à un bon développement du rouge rubis.

Mes protocoles de cuisson

J'ai essayé un grand nombre de méthodes de cuisson. Au départ je cuisais ensemble des émaux très divers en perdant le moins de place possible. Les cuissons espacées, les notes plus ou moins bien prises, les repérages plus ou moins bien faits conduisaient à des résultats plus décevants que miraculeux et de toute manière non-reproductibles.

Je ne savais pas non plus si mes formules d'émaux étaient correctes et si ceux-ci étaient bien posés. Jean Girel m'a confirmé que certaines de mes recettes devaient donner du rouge. À partir de là, j'ai pu me consacrer à la cuisson, sans avoir le souci de savoir si la composition était correcte. Il m'a également donné quelques indications : température élevée, émail fluide, fin oxydante, refroidissement rapide.

J'ai décidé de travailler de manière soutenue sur la cuisson avec l'ambition de comprendre, mais pas encore de reproduire : j'ai construit un petit four cloche, à flamme directe, au propane et à air induit qui monte à 1350°C en deux heures, puis je me suis mis à cuire tous les rouges de cuivre dont je disposais à raison d'une cuisson par jour. Ce fut une très belle semaine.

Le petit four réalisé s'est révélé parfait dans ses imperfections : trois étages superposés présentant des différences de température qui permettaient d'avoir 1320° en bas 1300° au milieu et 1280° en haut. Des différences d'atmosphère importantes entre l'avant et l'arrière du four en faisaient un instrument totalement impropre à cuire des essais systématiques réclamant une homogénéité d'atmosphère et de température, mais un outil qui permettait d'identifier (pour peu qu'on fasse un effort de lecture important) les rôles des gaz et de la chaleur dans le développement du rouge.

Au terme de cette huitaine, je "sortais" des rouges dont certains étaient à mon sens satisfaisants et j'avais un petit nombre de règles de cuisson qui devaient me permettre d'envisager le passage à un four de production avec sérénité. À partir de ce moment, malgré un certain nombre d'échecs, j'ai produit assez régulièrement des rouges et j'ai alors pu travailler l'influence de la composition chimique de la glaçure sur la qualité du rouge obtenu.

Voici quelques règles qui s'ajoutent à celles qui figurent à la page précédente :

- *La température de cuisson a une importance considérable : à 1280°C, un émail est "bouché" c'est à dire opaque, lourd, épais, à 1290°C, il est couleur rubis avec une collerette blanche, à 1320°C il a quasiment disparu, il ne reste que quelques filaments rouges. Cette règle se transfère à d'autres gammes de températures, lorsque la composition n'est plus la même. Toutes les formules de rouges ne se cuisent pas forcément ensemble. C'est à la limite de la disparition que le rouge est le plus satisfaisant, il faudra donc jouer avec le feu.*

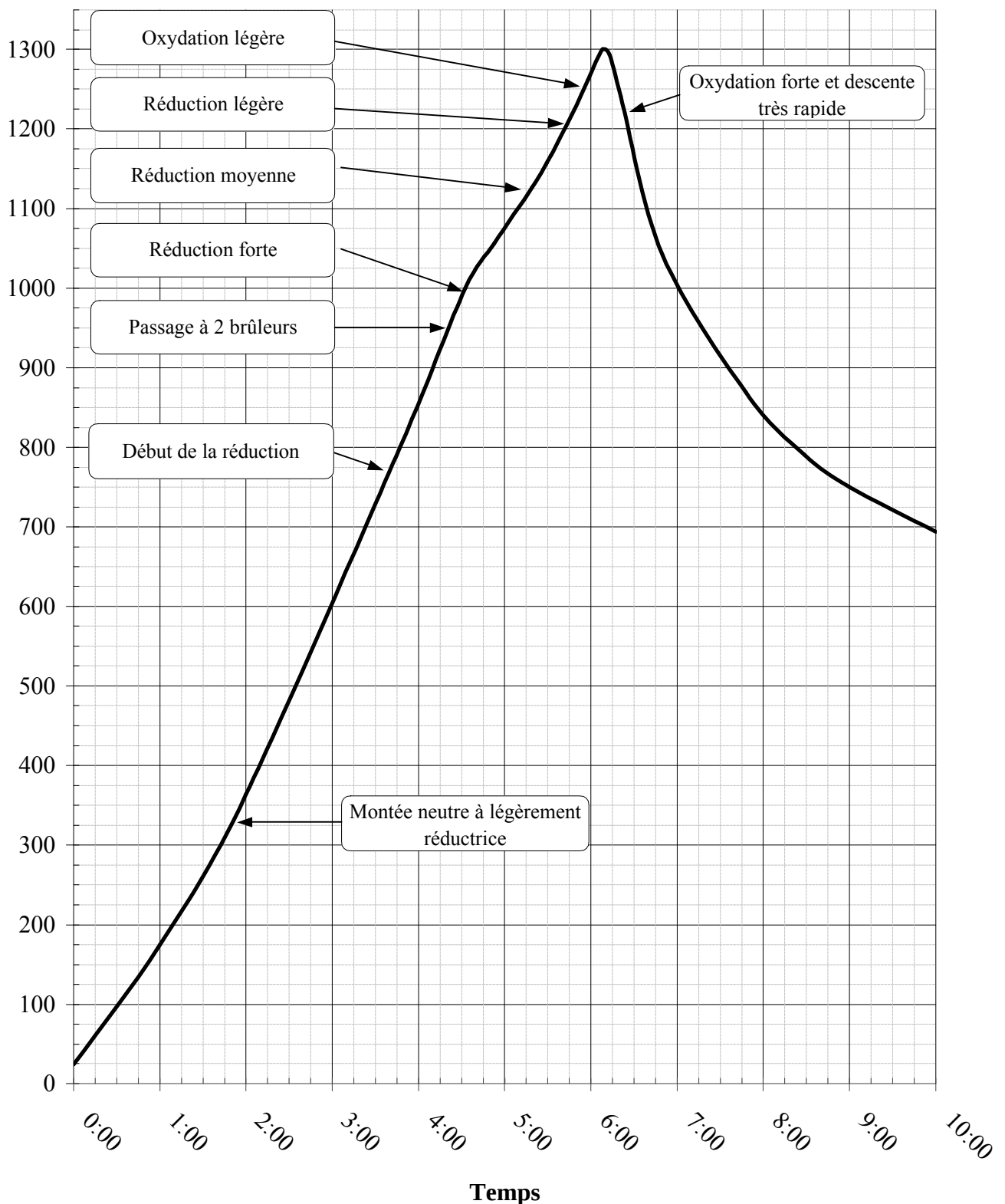
- *Le cuivre se volatilise à chaud, il y a intérêt à limiter la durée des hautes températures : montée rapide et descente rapide.*

- *À la descente, jusqu'à 900°C, il n'y a pas trop de risque de casse, pour éviter les coulures d'abord puis les cristallisations ensuite, on peut descendre très vite à cette température.*

- *La réduction précoce n'est utile que si la glaçure contient des frites très fusibles.*

- *Après une fusion complète des glaçures, l'oxydation est préférable à la réduction.*

Une courbe de cuisson



Les termes réduction forte, faible ou légère sont très vagues, je n'ai pas d'analyseur qui me permettrait de donner des indications plus précises. Dans mes fours à gaz, je ne vais jamais jusqu'à la production de fumée qui ne me semble pas très réductrice, en raison de la faible pénétration des particules de carbone dans la glaçure.

Même en notant tout, je ne suis jamais parvenu à une reproductibilité parfaite.

Le suivi du développement de la couleur

J'ai placé des paniers de porcelaine contenant RVNa (voir fiche technique page 20) à côté des montres et de la canne, je les ai sortis tout au long de la montée et de la descente en température (effectuée selon la courbe ci-contre). Les paniers ont refroidi à l'air très rapidement. Les couleurs observées sur les photos numérotées sont celles de la page 49, ces couleurs correspondent au déroulement d'une cuisson réussie. Certains paniers, correspondant à des températures intermédiaires, n'ont pas été présentés, *a contrario*, certains paniers manquent parce qu'ils n'ont pas été sortis au bon moment.

Les températures indiquées sont celles données par la canne, pour les valeurs supérieures, elles correspondraient approximativement à celles données par les montres augmentées de 20°C.

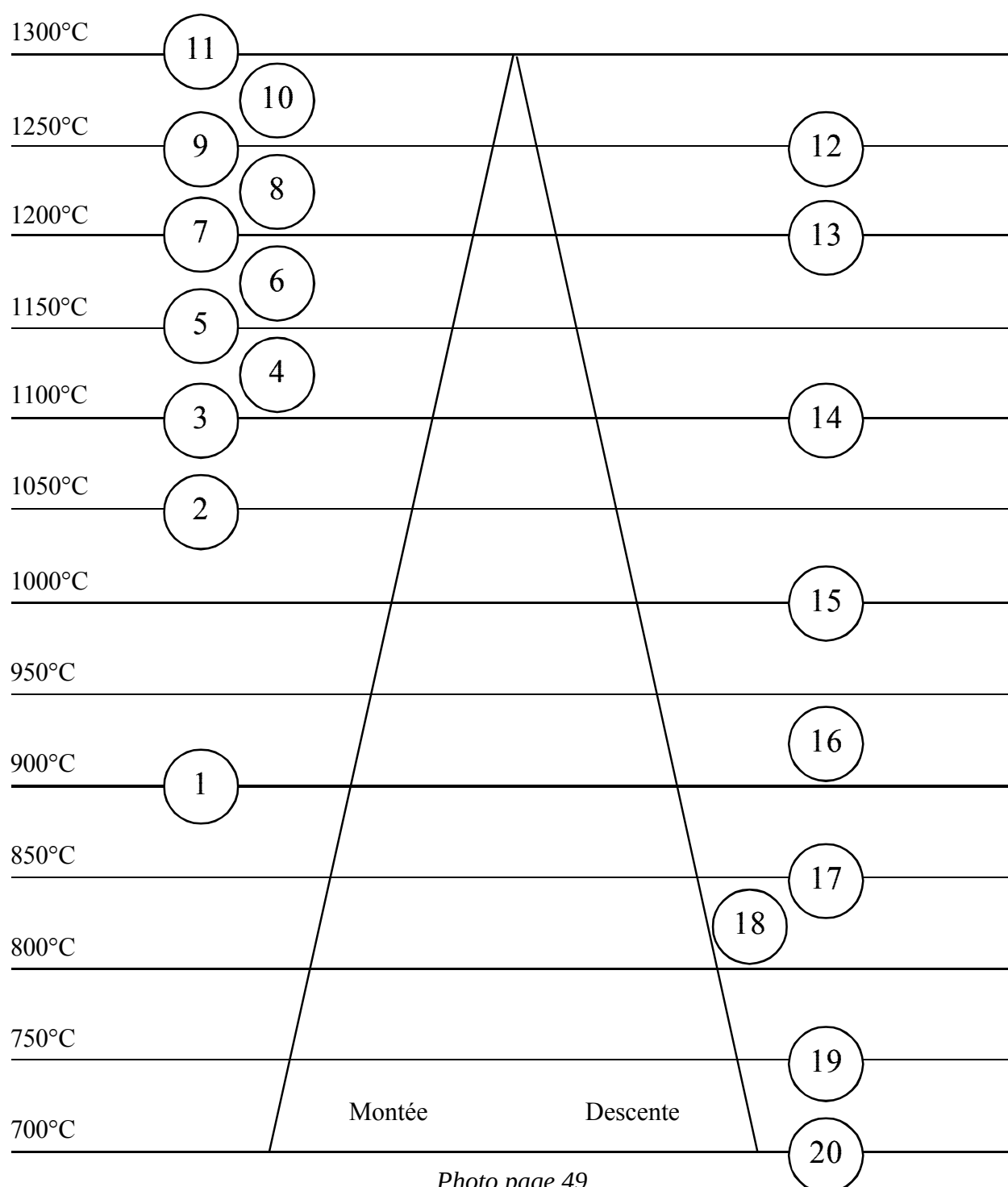


Photo page 49

Ce suivi n'est valable que pour RVNa, j'ai suivi des cuissons à l'aide de paniers chargés avec un rouge au bore (RR'3), je n'obtiens pas les mêmes résultats mais j'ai constaté de nombreuses similitudes.

- Avant la fusion complète, la glaçure devient noire sous l'effet de la réduction. Il me semble que cette couleur est due au cuivre métallique finement divisé.
- La glaçure est bien nappée à partir de 1225°C, l'influence des gaz à partir de cet état se trouve limitée si on procède rapidement.
- Une couleur rouge transparente apparaît vers les plus hautes températures mais parfois la couleur disparaît totalement, dans ce cas le rouge est proche du rubis, mais il en reste généralement assez peu.
- À la descente en température, le rouge se dissipe pour laisser place à du noir vers 1000°C, puis, le noir se "transforme" progressivement en rouge, vers 825°C, le rouge est net, mais encore voilé de noir. Entre cette température et 700°C, le rouge atteint son maximum, la fin du refroidissement est sans influence réelle sur la couleur.

Cette observation permet de penser que le rouge se développe bien au cours d'un phénomène de cristallisation (du métal cuivre).

Si on réchauffe à 1000°C un rouge devenu transparent et qu'on le laisse ensuite refroidir, une partie du rouge revient sous forme de filaments rouges, mais plus souvent roses (voir photo N° 18 page 56).

Si on réchauffe seulement à 800°C, on observe la coloration en rouge de la surface interne des bulles le long des craquelures de la couverte (voir photo N° 19 page 56).

J'ai constaté plusieurs fois ces recoloration, on peut penser qu'il s'agit encore d'une cristallisation de cuivre dissous, en réalité, nous sommes dans l'hypothèse.



Comparaison des recettes de rouges

Tout céramiste commence par l'utilisation de recettes recueillies ici ou là. Aujourd'hui on en trouve beaucoup sur Internet provenant des sites français et étrangers. Il y a quelques années, seuls les livres de Leach, Rhodes, Daly et quelques articles de revues nous permettaient de commencer des essais ou de réaliser des pièces.

Si le succès n'était pas toujours au rendez-vous, c'est que le problème essentiel du rouge réside dans la cuisson. Cette question centrale a été abordée dans le paragraphe précédent, je l'évoquerai à nouveau en fin de chapitre.

La composition du bain d'émail a une importance. Le but de cette comparaison de compositions de rouges est de commencer à identifier des invariants et de permettre de formuler des hypothèses sur le rôle des différents éléments qui entrent dans les recettes des rouges. Les propositions qui suivent, toutes essayées (sauf une) au cours de plusieurs cuissons, ont toutes, à un moment ou à un autre, donné du rouge. J'ai éliminé (à tort peut-être) les préparations qui n'ont produit que du brun-gris, de l'incolore ou toute autre couleur qui ne m'a pas paru entrer pleinement dans la catégorie des rouges chinois.

La juxtaposition des formules de Seger de ces préparations a fait apparaître une différence importante entre les rouges au bore et les rouges sans bore : les rouges contenant l'élément bore nécessitent apparemment plus de silice et d'alumine que les autres. Dans un premier temps, j'ai été amené à faire deux catégories de rouges : avec et sans bore, mais cette distinction m'est apparue un peu gênante puisque d'une part elle faisait jouer au bore un rôle très particulier (alors que les glaçures obtenues avec ou sans bore n'étaient pas fondamentalement différentes) et que d'autre part, les pourcentages molaires de la silice et de l'alumine de ces deux types de glaçures sont très proches.

Remplacer la formule de Seger pour mieux comparer ?

Des propositions alternatives à la formule de Seger ont déjà été faite par Marc Uzan dans un numéro de *La Revue de la Céramique et du Verre*, il m'a semblé judicieux d'essayer de présenter la formule d'un émail sous une forme autre que celle de Seger. Je partirai du questionnement suivant :

- *Le fait qu'un oxyde soit acide, basique ou amphotère m'importe-t-il pour composer une glaçure ?*

- *Quel est le vrai sens de ces notions alors que nous ne sommes pas en solution aqueuse et qu'on n'évoque jamais de réactions acido-basiques dans la genèse d'un émail ?*

- *Si on fait plusieurs catégories d'oxydes, pour en prendre une égale arbitrairement à un, quelles seraient les catégories les plus judicieuses et quelle est celle qu'il faudrait prendre pour unité ?*

- *Comment ne pas trop perturber nos habitudes par un changement qui en fait n'est qu'une question de choix de conventions ?*

J'y ajouterai quelques réflexions tirées des quelques connaissances que je me suis construites dans ce domaine :

- *Une glaçure de haute température est essentiellement un silicate, il est donc composé*

principalement de silice rendue plus fusible par d'autres composés (alcalins, alcalino-terreux, alumine, phosphate tricalcique, composés du bore, oxydes de fer...)

- La silice, composé principal, peut constituer une catégorie à elle seule.

- L'alumine joue un rôle tout à fait à part si on la compare aux alcalins très fusibles par exemple. On a vu que le rapport silice sur alumine est déterminant pour obtenir des bleus de fer par exemple ; je garderai donc une catégorie pour l'alumine seule puisque peu d'autres oxydes se comportent comme elle lors de la fusion de la glaçure.

- Les autres composés favorisent en général la fusion et se comportent de manière analogue (en première approche), ils peuvent composer une troisième catégorie d'oxydes. Leur somme pourrait être prise arbitrairement égale à 1, comme c'était le cas auparavant pour les seuls alcalins et alcalino-terreux.

- Les oxydes colorants peuvent continuer à être traités à part étant donné leur faible proportion dans la recette.

Ce qui est pratique et séduisant dans la formulation de Seger, c'est le fait, étant donné que toute formule chimique est définie à une constante multiplicative près, qu'on choisit arbitrairement la somme des alcalins et des alcalino-terreux égale à 1, cela semble nous donner un repère stable. Ce qui est dérangent avec la formulation de Seger c'est que deux émaux contenant le même pourcentage de silice peuvent apparaître très différents de ce point de vue, lorsqu'ils sont écrits à la manière de Seger.

L'idée m'est tout d'abord venue de prendre arbitrairement la valeur de la silice égale à 1 à 100 ou à 1000 comme on prend la valeur des (alcalins + alcalino-terreux) égale à 1 dans la formulation de Seger, j'ai abandonné cette idée car elle débouchait sur des expressions très éloignées de celles dont nous avons l'habitude.

Pour ne pas trop perturber la lecture de recettes, j'ai décidé de **prendre égale à un la somme de tout ce qui n'est pas silice, alumine et colorants**. On retrouve la formule de Seger lorsqu'il n'y a pas d'oxydes de bore et de phosphore en particulier. J'appelle cette formule **la formule tripartite**, ce qui signifie silice, alumine et autres, les oxydes colorants étant pris à part.

En fait, il ne s'agit que d'une demi-mesure qui est destinée à ne pas trop s'éloigner de nos conventions d'écriture des formules d'émaux. Il serait plus courageux de s'en tenir aux pourcentages molaires (fractions molaires multipliées par cent) ou aux pourcentages pondéraux qui ne présentent pas l'inconvénient d'un choix arbitraire. À ce propos, on peut remarquer que les chimistes, donnant les résultats de l'analyse d'un émail, ne donnent jamais la formule de Seger, ils emploient soit la fraction molaire, soit le pourcentage pondéral des oxydes de la glaçure cuite (c'est à dire débarrassée des corps qui vont disparaître au chauffage tels que les composés organiques, le dioxyde de carbone, une partie du soufre, du fluor, du chlore...).

J'ai fait les pages de calcul du même émail rouge au bore nommé RR'3 trouvé il y a quelques années à partir des formules de Rhodes que j'avais pas mal modifiées.

Le premier tableau correspond à la formule de Seger, le deuxième à la formule tripartite, ceci nous permet de constater que la manière de présenter peut nous donner des idées très différentes d'une même chose.

										RR'3
ATMOSPHERE DE CUISSON : REDUCTRICE - TEMPERATURE 1300°C										
FORMULE MOLAIRE "de SEGER"										
	oxydesbasiques					Alumine	Silice	"Colorants"		
Formule des oxydes	Na2O	K2O	CaO	MgO	B2O3	Al2O3	SiO2	TiO2	Fe2O3	
% masse d'oxydes glaçure cuite	4,9	2,4	9,6	0,7	5,7	10,7	66,1	0,0	0,0	
formule moléculaire tripartite	0,270	0,084	0,586	0,059	0,277	0,357	3,761	0,000	0,000	
	0,999				0,277	0,357	3,761			
Pourcentage molaire	5,01	1,56	10,86	1,09	5,14	6,62	69,73	0,00	0,00	
COMPOSITION EXPRIMEE EN FONCTION DE LA FORMULE REELLE DES MATIERES PREMIERES										
Nombres de moles										composition pour ~ 1Kg
1 2 5 4	0,126		0,126		0,277	0,050	0,504			191
Feldspath de sodium	0,106		0,019	0,004		0,127	0,804		0,000	191
Feldspath de Potassium	0,038	0,082	0,002	0,003		0,137	0,806		0,000	200
Dolomie			0,055	0,051						29
Carbonate de calcium			0,384				0,004			106
Kaolin calciné	0,000	0,002				0,042	0,091		0,000	27
Silice							1,553			255
Ox d'étain										30
Bouillie bordelaise										10

Si on compare les deux fiches, on constate qu'il s'agit bien du même émail :

- les recettes, pourcentages molaires et pourcentages pondéraux d'oxydes dans la glaçure cuite sont identiques.

										RR'3t
ATMOSPHERE DE CUISSON : REDUCTRICE - TEMPERATURE 1300°C										
FORMULE MOLAIRE TRIPARTITE										
	oxydes "glaçants"					Alumine	Silice	"Colorants"		
Formule des oxydes	Na2O	K2O	CaO	MgO	B2O3	Al2O3	SiO2	TiO2	Fe2O3	
% masse d'oxydes glaçure cuite	4,9	2,4	9,6	0,7	5,7	10,6	66,1	0,0	0,0	
formule moléculaire tripartite	0,212	0,066	0,459	0,046	0,217	0,278	2,947	0,000	0,000	
	1,000					0,278	2,947			
Pourcentage molaire	5,01	1,56	10,87	1,09	5,14	6,58	69,76	0,00	0,00	
COMPOSITION EXPRIMEE EN FONCTION DE LA FORMULE REELLE DES MATIERES PREMIERES										
Nombres de moles										composition pour ~ 1Kg
1 2 5 4	0,099		0,099		0,217	0,039	0,395			191
Feldspath de sodium	0,083		0,015	0,003		0,100	0,630		0,000	191
Feldspath de Potassium	0,030	0,065	0,002	0,003		0,108	0,632		0,000	201
Dolomie			0,043	0,040						29
Carbonate de calcium			0,301				0,003			106
Kaolin calciné	0,000	0,001				0,032	0,069		0,000	27
Silice							1,219			256
Ox d'étain										30
Bouillie bordelaise										10

- les formules moléculaires de Seger et tripartites sont différentes. Si on n'avait que ces deux expressions, on pourrait penser que ce sont des glaçures différentes. La première glaçure contenant plus d'alumine et de silice que la seconde.

Quelques rouges

Avec l'emploi de la formule tripartite, nous verrons, au moment des comparaisons, qu'il n'y a pas lieu de faire une distinction entre les glaçures au bore et les autres, pas plus d'ailleurs qu'il n'y a lieu de faire une différence entre les rouges au baryum et les autres si ce n'est au niveau de la toxicité de la matière crue.

Dans l'ordre, vous trouverez trois rouges sans bore mais avec du baryum (en petite quantité), un rouge sans bore ni baryum et enfin quelques rouges réalisés avec des frites boraciques ou alcalines.

Les rouges réalisés avec des frites sont en contradiction avec un de mes principes de base qui veut que je n'utilise que des matières premières naturelles, comme le faisaient vraisemblablement les Chinois inventeurs du mythe. Il y a là une raison simple : le bore apparaît dans de nombreuses publications, il est donc difficile de l'ignorer. L'introduction de cet élément à l'aide de borocalcite insoluble fonctionne convenablement jusqu'à 5% environ, ensuite on assiste à des décollements surtout à l'extérieur des pièces, dus vraisemblablement à l'évacuation d'eau de cristallisation lors du chauffage. J'utilise donc la 1254 de Céradel et la FR7 de Solargil pour l'introduction du bore, la FR4 de Solargil pour des compositions alcalines impossibles à réaliser avec des feldspaths. Nous verrons par la suite qu'on peut parfaitement se passer de ces produits, mais il faut reconnaître qu'ils ont une influence dans l'aspect final de certaines glaçures.

RC'										
ATMOSPHERE DE CUISSON : REDUCTRICE - TEMPERATURE 1300°C										
FORMULE MOLAIRE TRIPARTITE										
		oxydes "glaçants"					Alumine	Silice		
Formule des oxydes		Na2O	K2O	CaO	MgO	BaO	Al2O3	SiO2		
% masse d'oxydes glaçure cuite		7,0	0,0	10,6	1,5	5,8	13,9	61,2		
formule moléculaire tripartite		0,300	0,000	0,500	0,100	0,100	0,360	2,700		
		1,000					0,360	2,700		
Pourcentage molaire	100,00	7,39	0,00	12,32	2,46	2,46	8,87	66,50		
Indicateur				Min.			Valeur	Max..		
Tension superficielle théorique				250,00			353,28	400,00		
Coef. de dilatation théo. * 10 exp 7				50,00			74,54	100,00		
Fusibilité = sil / (10 alu - 1)				0,40			1,04	1,50		
Silice / Alumine				2,00			7,50	20,00		
Calcaire / "glaçants"				0,00			0,50	1,00		
COMPOSITION EXPRIMEE EN FONCTION DE LA FORMULE REELLE DES MATIERES PREMIERES										
Nombres de moles									composition pour ~ 1Kg	
Feldspath de sodium	1mole Na2O	0,300		0,054	0,012		0,360	2,274	668	
Dolomie	1 Mole MgO			0,094	0,087				60	
Carbonate de calcium	CaCO3			0,352				0,004	120	
Carbonate de baryum	BaCO3					0,100			67	
Silice	SiO2							0,422	86	
Ox d'étain									30	
Bouillie bordelaise									10	

Un de mes plus anciens rouges. J'ai perdu l'origine de sa formule.

On voit qu'on est parti d'une formule et non d'une recette, les nombres figurant dans la formule tripartite n'ont qu'un ou deux chiffres significatifs.

Beau rouge rubis lorsqu'il est bien cuit.

Disparaît facilement en cas d'épaisseur insuffisante et de surcuisson. Toxique.

RC1									
ATMOSPHERE DE CUISSON : REDUCTRICE - TEMPERATURE 1300°C									
FORMULE MOLAIRE TRIPARTITE									
		oxydes "glaçants"					Alumine	Silice	
Formule des oxydes		Na2O	K2O	CaO	MgO	BaO	Al2O3	SiO2	
% masse d'oxydes glaçure cuite		4,3	0,0	13,4	1,2	6,2	8,4	66,5	
formule moléculaire tripartite		0,183	0,000	0,634	0,077	0,107	0,218	2,934	
		1,001					0,218	2,934	
Pourcentage molaire	100,00	4,41	0,00	15,27	1,85	2,58	5,25	70,65	
Indicateur				Min.			Valeur	Max..	
Tension superficielle théorique				250,00			347,93	400,00	
Coef. de dilatation théo. *10 exp 7				50,00			66,21	100,00	
Fusibilité = sil / (10 alu - 1)				0,40			2,49	1,50	
Silice / Alumine				2,00			13,46	20,00	
Calcaire / "glaçants"				0,00			0,63	1,00	
COMPOSITION EXPRIMEE EN FONCTION DE LA FORMULE REELLE DES MATIERES PREMIERES									
Nombres de moles									composition pour ~ 1Kg
Feldspath de sodium	1mole Na2O	0,183		0,033	0,007		0,220	1,387	400
Dolomie	1 Mole MgO			0,074	0,069				47
Carbonate de calcium	CaCO3			0,527				0,005	177
Carbonate de baryum	BaCO3					0,107			70
Silice	SiO2							1,542	307
Ox d'étain									30
Bouillie bordelaise									10

Rouge à très faible teneur en alumine.
 Se réoxyde assez facilement en surface.
 Apparition de cristaux blancs dans la masse si le refroidissement n'est pas extrêmement rapide.
 Toxique.

RC4									
ATMOSPHERE DE CUISSON : REDUCTRICE - TEMPERATURE 1300°C									
FORMULE MOLAIRE TRIPARTITE									
		oxydes "glaçants"					Alumine	Silice	
Formule des oxydes		Na2O	K2O	CaO	MgO	BaO	Al2O3	SiO2	
% masse d'oxydes glaçure cuite		5,6	0,0	11,9	1,4	6,1	11,1	63,8	
formule moléculaire tripartite		0,238	0,000	0,561	0,095	0,105	0,286	2,800	
		0,999					0,286	2,800	
Pourcentage molaire	100,00	5,83	0,00	13,73	2,33	2,57	7,00	68,54	
Indicateur				Min.			Valeur	Max..	
Tension superficielle théorique				250,00			350,78	400,00	
Coef. de dilatation théo. * 10 exp 7				50,00			70,29	100,00	
Fusibilité = sil / (10 alu - 1)				0,40			1,51	1,50	
Silice / Alumine				2,00			9,79	20,00	
Calcaire / "glaçants"				0,00			0,56	1,00	
COMPOSITION EXPRIMEE EN FONCTION DE LA FORMULE REELLE DES MATIERES PREMIERES									
Nombres de moles									composition pour ~ 1Kg
Feldspath de sodium	1mole Na2O	0,238		0,043	0,010		0,286	1,804	527
Dolomie	1 Mole MgO			0,091	0,085				58
Carbonate de calcium	CaCO3			0,427				0,004	145
Carbonate de baryum	BaCO3					0,105			70
Silice	SiO2							0,992	200
Ox d'étain									30
Bouillie bordelaise									10

Rouge stable, il disparaît moins à la cuisson que RC'.
 Assez sombre, il donne des bouillonnements qui animent sa surface qui se nappe ensuite.
 Assez facile à cuire.
 Si je conseillais un rouge pour débiter, ce serait celui-ci.
 Toxique.

RVNa									
ATMOSPHERE DE CUISSON : REDUCTRICE - TEMPERATURE 1300°C									
FORMULE MOLAIRE TRIPARTITE									
		oxydes "glaçants"					Alumine	Silice	
Formule des oxydes		Na2O	K2O	CaO	MgO	BaO	Al2O3	SiO2	
% masse d'oxydes glaçure cuite		5,8	0,0	14,6	1,6	0,0	11,9	66,2	
formule moléculaire tripartite		0,238	0,000	0,661	0,100	0,000	0,296	2,800	
		0,999					0,296	2,800	
Pourcentage molaire	100,00	5,81	0,00	16,14	2,44	0,00	7,23	68,38	
Indicateur				Min.			Valeur	Max..	
Tension superficielle théorique				250,00			352,38	400,00	
Coef. de dilatation théo. * 10 exp 7				50,00			68,28	100,00	
Fusibilité = sil / (10 alu - 1)				0,40			1,43	1,50	
Silice / Alumine				2,00			9,46	20,00	
Calcaire / "glaçants"				0,00			0,66	1,00	
COMPOSITION EXPRIMEE EN FONCTION DE LA FORMULE REELLE DES MATIERES PREMIERES									
Nombres de moles									composition pour ~ 1Kg
Feldspath de sodium	1mole Na2O	0,238		0,043	0,010		0,286	1,804	552
Talc L O O	1 MgO			0,002	0,090		0,010	0,093	41
Carbonate de calcium	CaCO3			0,616				0,006	219
Silice	SiO2							0,897	189
Ox d'étain									15
Bouillie bordelaise									8

Très proche de RC4, ce rouge a été conçu pour ne pas contenir de carbonate de baryum, toxique.

C'est un très bon rouge qui donne de nombreuses nuances selon les cuissons.

Il constituera la glaçure de base dans laquelle je ferai varier les facteurs de composition pour identifier leur rôle.

Toxicité réduite à celle de la bouillie bordelaise.

RCGD 1									
ATMOSPHERE DE CUISSON : REDUCTRICE - TEMPERATURE 1280°C									
FORMULE MOLAIRE TRIPARTITE									
		oxydes "glaçants"						Alumine	Silice
Formule des oxydes		Na2O	K2O	CaO	MgO	BaO	B2O3	Al2O3	SiO2
% masse d'oxydes glaçure cuite		4,0	3,8	6,8	1,5	7,9	2,0	12,2	62,0
formule moléculaire tripartite		0,191	0,115	0,354	0,107	0,150	0,083	0,351	3,031
		1,000						0,351	3,031
Pourcentage molaire	100,00	4,35	2,62	8,08	2,43	3,43	1,90	8,00	69,18
Indicateur				Min.			Valeur	Max..	
Tension superficielle théorique				250,00			331,65	400,00	
Coef. de dilatation théo. * 10 exp 7				50,00			70,58	100,00	
Fusibilité = sil / (10 alu - 1)				0,40			1,21	1,50	
Silice / Alumine				2,00			8,65	20,00	
Calcaire / "glaçants"				0,00			0,35	1,00	
COMPOSITION EXPRIMEE EN FONCTION DE LA FORMULE REELLE DES MATIERES PREMIERES									
Nombres de moles									composition pour ~ 1Kg
1254		0,038		0,038			0,083	0,015	0,151
Néphéline	1 mole KNaO	0,149	0,112	0,025		0,002		0,280	1,100
Talc L O O	1 MgO			0,002	0,106			0,012	0,109
Carbonate de calcium	CaCO3			0,289					0,003
Carbonate de baryum	BaCO3					0,148			
Kaolin A	1 Mole alumine	0,004	0,003		0,001			0,044	0,100
Silice	SiO2								1,567
Ox d'étain									30
Bouillie bordelaise									10

Recette trouvée dans le livre de Greg Daly et adaptée aux matières premières et frittes dont je dispose.

Rouge très fluide.

Toxique.

RR5 t										
ATMOSPHERE DE CUISSON : REDUCTRICE - TEMPERATURE 1280°C										
FORMULE MOLAIRE TRIPARTITE										
		oxydes "glaçants"						Alumine	Silice	
Formule des oxydes		Na2O	K2O	CaO	MgO	BaO	B2O3	Al2O3	SiO2	
% masse d'oxydes glaçure cuite		3,2	4,5	6,3	3,1	0,0	4,7	9,1	69,1	
formule moléculaire tripartite		0,146	0,131	0,318	0,218	0,000	0,188	0,253	3,243	
		1,000						0,253	3,243	
Pourcentage molaire	100,00	3,24	2,91	7,07	4,84	0,00	4,18	5,62	72,14	
Indicateur				Min.				Valeur	Max..	
Tension superficielle théorique				250,00				316,21	400,00	
Coef. de dilatation théo. * 10 exp 7				50,00				60,44	100,00	
Fusibilité = sil / (10 alu - 1)				0,40				2,13	1,50	
Silice / Alumine				2,00				12,84	20,00	
Calcaire / "glaçants"				0,00				0,32	1,00	
COMPOSITION EXPRIMEE EN FONCTION DE LA FORMULE REELLE DES MATIERES PREMIERES										
Nombres de moles										composition pour ~ 1Kg
1 2 5 4		0,085		0,085			0,188	0,034	0,342	156
Feldspath de Potassium	1 Mole K2O	0,060	0,131	0,004	0,005			0,218	1,279	382
Dolomie	1 Mole MgO			0,228	0,212					142
Silice	SiO2								1,621	320
Ox d'étain										30
Bouillie bordelaise										10

Rouge très sombre à violacé, il comporte très souvent des taches turquoise si le refroidissement est lent.

Email peu tendu.

Difficile à utiliser.

Très intéressant en sous-couche, il peut alors être recouvert de RC4 ou RVNa.

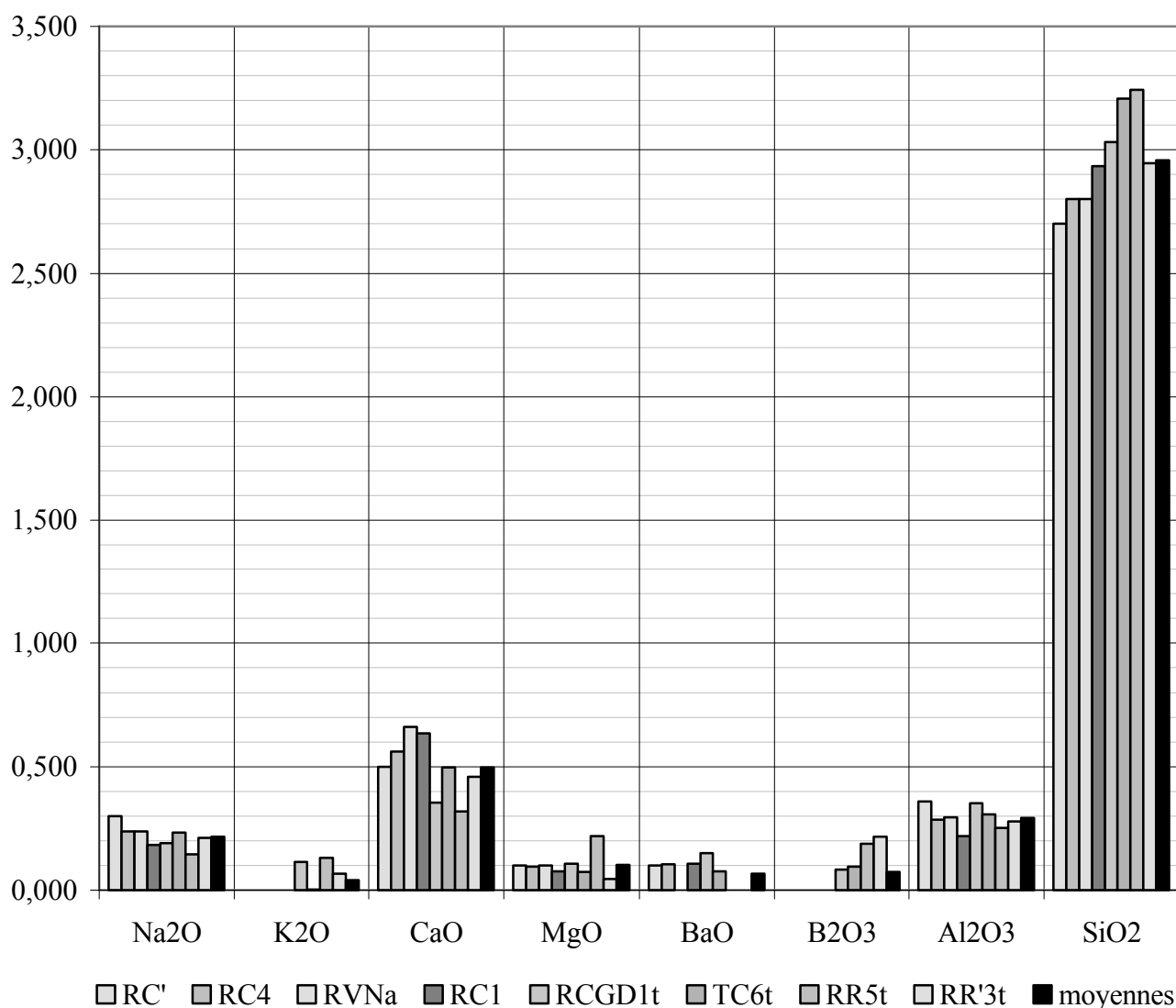
TC6 t											
ATMOSPHERE DE CUISSON : REDUCTRICE - TEMPERATURE 1280°C											
FORMULE MOLAIRE TRIPARTITE											
		oxydes "glaçants"							Alumine	Silice	
Formule des oxydes		Na2O	K2O	CaO	MgO	BaO	ZnO	B2O3	Al2O3	SiO2	
% masse d'oxydes glaçure cuite		5,0	0,1	9,6	1,0	4,0	0,8	2,3	10,8	66,5	
formule moléculaire tripartite		0,232	0,002	0,497	0,073	0,076	0,027	0,094	0,306	3,208	
		1,000							0,306	3,208	
Pourcentage molaire	100,00	5,13	0,05	11,00	1,62	1,68	0,59	2,08	6,78	71,07	
Indicateur				Min.				Valeur	Max..		
Tension superficielle théorique				250,00				337,30	400,00		
Coef. de dilatation théo. * 10 exp 7				50,00				61,50	100,00		
Fusibilité = sil / (10 alu - 1)				0,40				1,56	1,50		
Silice / Alumine				2,00				10,48	20,00		
Calcaire / "glaçants"				0,00				0,50	1,00		
COMPOSITION EXPRIMEE EN FONCTION DE LA FORMULE REELLE DES MATIERES PREMIERES											
Nombres de moles										composition pour ~ 1Kg	
Colémanite	1 mole B2O3	0,003		0,073	0,006		0,000	0,094		0,012	49
Feldspath de sodium	1 mole Na2O	0,225		0,040	0,009				0,270	1,705	463
Dolomie	1 Mole MgO			0,061	0,057						36
Carbonate de calcium	CaCO3			0,322						0,003	102
Carbonate de baryum	BaCO3					0,076					47
Oxyde de zinc	ZnO						0,027				7
Kaolin A	1 Mole alumine	0,004	0,002		0,001				0,036	0,082	34
Silice	SiO2									1,406	263
Ox d'étain											15
Bouillie bordelaise											8

Rouge de Tom Coleman trouvé sur le site www.studiopotter.org Je ne l'ai pas testé. La comparaison des formules me permet maintenant de penser qu'il s'agit sans doute d'un vrai rouge. Il contient de l'oxyde de zinc, on pourrait se poser la question de sa fonction.

Comparaison des rouges de départ

Comparaison des formules triparites

	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	BaO	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	BB	SnO ₂
RC'	0,300	0,000	0,500	0,100	0,100	0,000	0,360	2,700	10	30
RC4	0,238	0,000	0,561	0,095	0,105	0,000	0,286	2,800	10	30
RVNa	0,238	0,000	0,661	0,100	0,000	0,000	0,296	2,800	8	15
RC1	0,183	0,000	0,634	0,077	0,107	0,000	0,218	2,934	10	30
RCGD1t	0,191	0,115	0,354	0,107	0,150	0,083	0,351	3,031	10	30
TC6t	0,232	0,002	0,497	0,073	0,076	0,094	0,306	3,208	8	15
RR5t	0,146	0,131	0,318	0,218	0,000	0,188	0,253	3,243	10	30
RR'3t	0,212	0,066	0,459	0,046	0,000	0,217	0,278	2,947	10	30
moyennes	0,218	0,039	0,498	0,102	0,067	0,073	0,294	2,958	9,5	26



Remarques et questions suggérées par la comparaison

Tout d'abord, il faut remarquer l'absence totale de dispersion des formules. Est-ce un hasard ? La diversité des sources utilisées permet de penser qu'il existe une véritable convergence.

Remarques :

- Si on regarde la silice par exemple, on voit qu'elle constitue entre 66 et 72 % des molécules de la glaçure ou encore que sa valeur est comprise entre 2,7 et 3,2 moles dans la formule tripartite. Dans aucune étude antérieure je n'avais trouvé une "fourchette" aussi serrée et aussi basse, il faut voir là une des caractéristiques des rouges : ils contiennent relativement peu de silice.

- En ce qui concerne l'alumine la valeur moyenne est voisine de 0,3 ce qui est également une valeur assez basse.

- Le rapport silice sur alumine est de 10, ce qui en revanche est très fréquent.

- Si la silice et l'alumine ont des valeurs faibles dans la formule tripartite, c'est que les autres composés (on les appelle parfois les fondants) sont mieux représentés que dans les Shino par exemple, on ne s'étonnera donc pas d'avoir des glaçures rouges généralement fluides, brillantes et craquelées.

Questions :

- Les alcalino-terreux sont bien représentés, la chaux y est prépondérante, mais il est rare que les oxydes de magnésium et de baryum soient absents, jouent-ils un rôle véritable ? C'est une question qu'il faudra se poser lors de l'étude plus systématique des facteurs qui permettent un bon développement du rouge.

- Il semble que le sodium soit plus souvent utilisé que le potassium, y a-t-il une raison ?

- Le bore intervient assez souvent, en quoi change-t-il la glaçure ?

- J'utilise systématiquement la bouillie bordelaise, mais le carbonate de cuivre ou les oxydes ne seraient-ils pas préférables ?

- L'étain est partout présent, est-il indispensable ? Pourrait-on le remplacer par de l'oxyde de fer comme on le lit parfois ? S'il est indispensable, quelle est sa concentration optimale ?

Voici un certain nombre de questions qui vont nous guider dans l'étude qui va suivre, les hypothèses sur l'origine de la couleur rouge, et les travaux qui ont été conduits dans ce domaine par les verriers en particulier ne seront évoquées qu'à la fin du chapitre sur les rouges.



Les facteurs de composition

Les colorants du rouge

Le cuivre et l'étain

Un rouge de cuivre contient naturellement l'élément cuivre. Nous avons constaté que les recettes qui figurent au début du fascicule contiennent toute également de l'oxyde d'étain, on est donc tenté de vérifier que cette matière première a un véritable rôle dans le développement de la couleur. Le pourcentage trouvé dans différentes recettes va de 0,5 % à 5 %. Il serait intéressant, si l'étain est indispensable, de voir quelle serait la quantité optimale d'oxyde d'étain, celle qui donnera le rouge le plus proche du rubis.

Bien entendu, il faut partir d'une base qui développe convenablement le rouge, j'ai choisi pour un très grand nombre d'essais la base de RVNa présentée page 20, ceci pour quatre raisons :

- C'est une bonne base
- C'est une préparation non-toxique
- C'est une glaçure peu onéreuse
- C'est une glaçure sans bore, celui-ci ayant tendance à masquer les différences de couleur liées à la composition.

La base de RVNa (bRVNa dans ce cas) est la recette de RVNa sans cuivre ni étain.

Il fallait également choisir un composé cuprique, j'avais à ma disposition les oxydes, le sulfate et la bouillie bordelaise, j'ai préféré cette dernière parce qu'elle est micronisée, facile à délayer et très peu onéreuse, c'était un bon choix, j'aurai l'occasion de le montrer dans un paragraphe consacré à cette question.

La méthode à employer : elle fera varier deux facteurs, on a donc deux possibilités : mélanges en triangle et mélanges en carré.

Il y a quelques années, j'avais fait des essais en triangle à 15 compositions, j'étais parvenu à la conclusion qu'il fallait environ 1 % de bouillie bordelaise pour 1 % d'oxyde d'étain, mais la méthode était peu précise, j'ai donc refait une vérification à l'aide de la méthode des mélanges en carré à 25 compositions.

Dans les méthodes des mélanges, le principal problème est le choix des composés de départ. Contrairement à ce que j'ai exposé dans l'avant propos de *l'élément fer dans les glaçures*, je n'ai pas cherché à optimiser la méthode (sans doute par négligence), je suis parti des compositions suivantes:

B bRVNa +3 % SnO₂	C bRVNa +1,6 % BB +3 % SnO₂
A bRVNa	D bRVNa +1,6 % BB

Ceci nous donne les couples oxyde d'étain / bouillie bordelaise dans la base de RVNa suivants

1 B		2		3		4		5 C	
Ox. étain	3	Ox. étain	3	Ox. étain	3	Ox. étain	3	Ox. étain	3
B. bord	0,00	B. bord	0,40	B. bord	0,80	B. bord	1,20	B. bord	1,60
6		7		8		9		10	
Ox. étain	2,25	Ox. étain	2,25	Ox. étain	2,25	Ox. étain	2,25	Ox. étain	2,25
B. bord	0,00	B. bord	0,40	B. bord	0,80	B. bord	1,20	B. bord	1,60
11		12		13		14		15	
Ox. étain	1,50	Ox. étain	1,50	Ox. étain	1,50	Ox. étain	1,50	Ox. étain	1,50
B. bord	0,00	B. bord	0,40	B. bord	0,80	B. bord	1,20	B. bord	1,60
16		17		18		19		20	
Ox. étain	0,75	Ox. étain	0,75	Ox. étain	0,75	Ox. étain	0,75	Ox. étain	0,75
B. bord	0,00	B. bord	0,40	B. bord	0,80	B. bord	1,20	B. bord	1,60
21 A		22		23		24		25 D	
Ox. étain	0,00	Ox. étain	0,00	Ox. étain	0,00	Ox. étain	0,00	Ox. étain	0,00
B. bord	0,00	B. bord	0,40	B. bord	0,80	B. bord	1,20	B. bord	1,60

Voir photographie N°3 Page 50

Conclusions :

- Sans cuivre, il n'y a pas de coloration ce qui n'était pas forcément évident au départ étant donné la volatilité de cet élément. Avec d'autres compositions de base, on pourrait observer une coloration sans introduction de cuivre dans la recette.

- Il faut entre 0,4 et 1,2 % de bouillie pour obtenir du rouge. La bouillie bordelaise permet un bon développement de la couleur.

- Il faut entre 0,75 et 3 % d'oxyde d'étain pour que le rouge soit soutenu.

- On peut obtenir du rouge en l'absence d'oxyde d'étain.

- Un excès de cuivre ou un excès d'oxyde d'étain ne sont pas souhaitables.

- J'ai retenu pour la suite les valeurs de 1,5 % pour l'oxyde d'étain et de 0,8 % pour la bouillie bordelaise.

Questions :

- les autres composés du cuivre conviennent-il pour obtenir du rouge ?
- Y a-t-il des possibilité de substituer l'oxyde d'étain par un autre produit ?
- Au niveau chimique, quel est le rôle de l'oxyde d'étain ?

Les différentes formes de cuivre employées

Traditionnellement, les céramistes utilisent le carbonate de cuivre dans la préparation de leurs glaçures rouges. À masse de cuivre égale, on peut se demander quel est le meilleur composé du cuivre pour les rouges.

La comparaison sera judicieuse si on parvient à calculer le pourcentage de l'élément cuivre dans le produit utilisé, mais elle le sera également si elle nous permet de dire quelle sera le corps qui donnera le meilleur aspect : absence de taches vertes (à moins qu'elles ne soient recherchées), absence de voile gris, moindre décoloration à la cuisson, couleur la plus forte et la plus pure ...

Dans le commerce on trouve assez facilement la bouillie bordelaise, l'oxyde de cuivre noir, l'oxyde rouge, le carbonate de cuivre vert, le cuivre en poudre et le sulfate de cuivre (soluble dans l'eau du bain d'émail).

0,8 % de bouillie développent bien le rouge, j'ai tenté de calculer les masses des autres composés contenant la même quantité de cuivre. J'ai incorporé ces masses dans la base de RVNa additionnée de 1,5 % d'oxyde d'étain et j'ai fait cuire dans la même fournée au "même" endroit du four.

Calcul de la masse de cuivre contenue dans 0,8 g de bouillie bordelaise

Le premier problème posé est celui de la composition des différentes bouillies : ont-elles toutes la même composition si elles viennent de distributeurs différents ?

J'ai testé les marques *Fertiligène*, *Les jardins d'Oronte*, et un produit sans marque distribué par *E. Leclerc*. Je n'ai pas observé de différence.

La composition indiquée sur le paquet est toujours la même : 72 % de Cu SO_4

Masse molaire du Cuivre = 64 g

Masse molaire du sulfate non-hydraté = $64 + 32 + (16 * 4) = 160$ g

Pourcentage d'élément cuivre dans la bouillie = $72 * 64 / 160 = 28,8$ %

Si nous raisonnons pour une préparation de glaçure de 100g titrée à 0,8 %, ça signifie qu'on mettra 0,8 g de bouillie contenant 28,8 % de cuivre c'est à dire $0,8 * 28,8 \% = 0,23\text{g}$

Cuivre en poudre : si on utilise ce produit difficile à trouver, on en mettra **0,23g** dans 100g de glaçure. J'ai utilisé de la limaille fine que j'ai écrasée au mortier : la poudre n'était pas "superfine", l'essai ne sera donc pas forcément très probant.

Sulfate de cuivre bleu ($\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$) (cristallisé avec 5 molécules d'eau) :

Masse molaire du sulfate : $160 + (18*5) = 250\text{g}$

Masse de sulfate contenant 0,23g de cuivre : $(0,23 * 250) / 64 = 0,898\text{g}$ soit environ **0,9g**

Oxyde cuivrique noir (CuO) :

Masse molaire de l'oxyde cuivrique : $64 + 16 = 80\text{g}$

Masse d'oxyde contenant 0,23g de cuivre : $(0,23 * 80) / 64 = 0,287\text{g}$

Oxyde cuivreux rouge (Cu_2O) :

Masse molaire : $(64 * 2) + 16 = 144\text{g}$

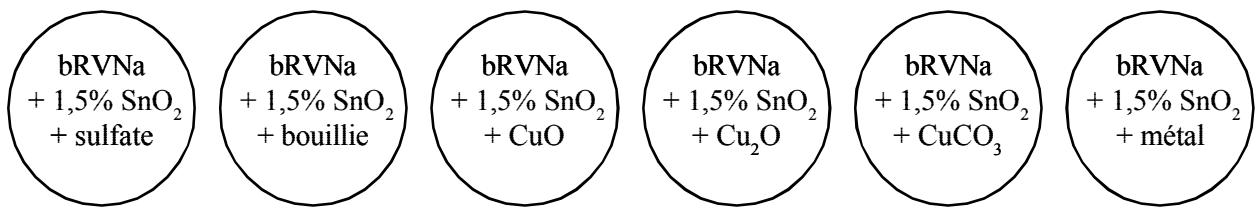
Masse d'oxyde cuivreux contenant 0,23g de cuivre : $(0,23 * 144) / (64 * 2) = 0,258\text{g}$

Carbonate de cuivre (CuCO_3) :

Masse molaire du carbonate : $64 + 12 + (16 * 3) = 124\text{g}$

Masse de carbonate contenant 0,23g de cuivre : $(0,23 * 124) / 64 = 0,446\text{g}$

Les résultats de cuisson :



Voir photographie N° 2 Page 49

Conclusions :

J'ai réalisé plusieurs cuissons, elles ont donné des résultats concordants.

- Dans l'ordre décroissant d'intensité de la couleur : la bouillie, le sulfate, l'oxyde cuivreux, l'oxyde cuivrique, le carbonate et le métal cuivre.

- Le métal était mal pulvérisé, on ne peut donc pas conclure.

- Le carbonate, acheté chez Céradel il y a quelques années, ne m'a pas semblé très fin, bien qu'il passe convenablement dans le tamis (89 microns). Ce carbonate a tendance à se déposer au fond du seau, il est donc souvent assez mal dispersé.

- Le sulfate donne de bons résultats malgré la présence de soufre dans sa formule (celui-ci, aux concentrations utilisées ne provoque pas encore de voile noir). Lors d'une cuisson un peu haute en température, c'est lui qui "tient" le mieux : on peut penser qu'une partie du cuivre passe dans le tesson à cause de la solubilité du sulfate, il peut alors réintégrer la couverte au cours de la cuisson

Questions :

- On voit apparaître des taches dans la couverte réalisée avec le métal, y a-t-il un effet "grain de cuivre", si oui, comment l'interpréter ? Voir page 56 (photo N° 20).

- Si on avait utilisé du laiton (alliage cuivre / zinc) ou du bronze (alliage cuivre / étain), aurait-on eu le même résultat ? Un essai réalisé sur ce thème ne m'a pas permis de voir une différence significative entre ces métaux lorsque la glaçure contient déjà de l'étain.

Développement par le fer ou par l'étain ?

De nombreux auteurs évoquent la possibilité d'un développement du rouge par l'oxyde de fer en remplacement de l'oxyde d'étain.

J'ai lu que le fer, en petite quantité, augmenterait la brillance et la luminosité de la glaçure. Un céramiste digne de foi m'a dit que le fer orientait le rouge vers des teintes orangées.

Tout ceci mériterait d'être vérifié d'une part afin d'élargir la palette et d'autre part afin de supprimer l'oxyde d'étain qui est onéreux.

Je propose la démarche suivante : observer ce que nous avons déjà obtenu et conduire deux séries d'essais en ligne, l'une pour voir si l'étain et le fer jouent le même rôle, l'autre pour voir quel est l'apport d'un peu d'oxyde de fer dans le développement d'un rouge à l'étain.

Exploitation de ce que nous avons déjà réalisé

On peut déjà rappeler qu'on obtient du rouge en l'absence de fer et d'étain comme nous l'avons constaté dans le paragraphe traitant du cuivre et de l'étain.

Voir photographie N° 3 Page 50

Comparaison de l'action du fer et de l'étain

En faisant parallèlement deux séries d'essais l'une contenant de l'oxyde de fer l'autre de l'oxyde d'étain, on doit pouvoir dire quel est le plus efficace pour obtenir du rouge d'une part et d'autre part constater les effets de ces oxydes sur les nuances de cette couleur.

Je suis parti de la base de RVNa à laquelle j'ai ajouté systématiquement 0,8 % de bouillie bordelaise. Dans une première série j'ai introduit progressivement de l'oxyde d'étain, dans une seconde, de l'oxyde de fer.

J'aurais pu choisir au hasard les quantités maximales d'oxydes à ajouter, j'ai choisi de réaliser des progressions contenant le même nombre d'atomes de fer et d'étain. Je ne suis pas sûr que ceci soit judicieux car ces métaux n'ont pas la même valence et pas les mêmes nombres d'oxydation. J'ai ajouté 4 % d'oxyde d'étain au maximum, nous avons vu précédemment que c'était suffisant, quelle est alors la quantité de fer qui introduit le même nombre de moles d'oxyde de fer ?

Masse molaire de l'oxyde d'étain : $119 + (16 \times 2) = 151 \text{ g}$

Masse molaire de l'oxyde ferrique : $(56 \times 2) + (16 \times 3) = 160 \text{ g}$ donc 80g d'oxyde contiennent une mole de fer comme 151g d'oxyde d'étain contiennent une mole d'étain.

La masse d'oxyde de fer à associer à 1g d'oxyde d'étain est donc de $(1 \text{ g} / 151) \times 80 = 0,53 \text{ g}$

Si on met au maximum 4 g d'oxyde d'étain, on mettra $0,53 \times 4 = 2,12 \text{ g}$ d'oxyde de fer soit environ la moitié.

Composition des mélanges réalisés avec l'oxyde d'étain

1	2	3	4	5	6	7	8	9
F. Na 552	F. Na 552	F. Na 552	F. Na 552	F. Na 552	F. Na 552	F. Na 552	F. Na 552	F. Na 552
Talc 40	Talc 40	Talc 40	Talc 40	Talc 40	Talc 40	Talc 40	Talc 40	Talc 40
Craie 219	Craie 219	Craie 219	Craie 219	Craie 219	Craie 219	Craie 219	Craie 219	Craie 219
Silice 189	Silice 189	Silice 189	Silice 189	Silice 189	Silice 189	Silice 189	Silice 189	Silice 189
B.b. 8	B.b. 8	B.b. 8	B.b. 8	B.b. 8	B.b. 8	B.b. 8	B.b. 8	B.b. 8
SnO2 0	SnO2 5	SnO2 10	SnO2 15	SnO2 20	SnO2 25	SnO2 30	SnO2 35	SnO2 40

Composition des mélanges réalisés avec l'oxyde de fer (Les 5 premières lignes sont celles du tableau précédent)

1		2		3		4		5		6		7		8		9	
Fe2O3	0	Fe2O3	3	Fe2O3	5	Fe2O3	8	Fe2O3	10	Fe2O3	13	Fe2O3	15	Fe2O3	18	Fe2O3	20

Voir photographies N° 4 Page 50

J'ai réalisé plusieurs cuissons, elles ont donné des résultats quasiment concordants.

Conclusions :

- Les résultats constatés avec l'étain sont conforme à ce qu'on savait, il y a une amélioration de la couleur à partir de 0,5 %, l'amélioration est plus réelle que ce qui peut se voir sur la photo, il y a en particulier une disparition des cristaux blancs qui naissent dans la glaçure sans étain.

- Pour les valeurs les plus importantes de la concentration en étain, dans cette cuisson, le rouge reste bon.

- Le fer fait également disparaître les cristaux.

- L'amélioration est sensible jusqu'à 1% d'oxyde de fer, ensuite une nuance brun-vert vient "salir" la couleur.

- Le développement de la couleur est meilleur avec l'oxyde d'étain qu'avec l'oxyde de fer.

Remarque : La plupart des matériaux utilisés contiennent naturellement un peu d'oxyde de fer, celui-ci ne semble pas gênant, mais s'il y en avait davantage, qu'en serait-il ?

Addition d'oxyde de fer dans un rouge

Si l'oxyde d'étain est présent en quantité "convenable", comment l'oxyde de fer fait-il évoluer le rouge ? Obtient-on les oranges escomptés ?

Pour le vérifier j'ai ajouté de 0 à 4 % d'oxyde de fer dans RVNa. Ceci nous donne les compositions suivantes pour un mélange en ligne classique.

1		2		3		4		5		6		7		8		9	
RVNa	100,0%	RVNa	99,5%	RVNa	99,0%	RVNa	98,5%	RVNa	98,0%	RVNa	97,5%	RVNa	97,0%	RVNa	96,5%	RVNa	96,0%
Fe2O3	0,0%	Fe2O3	0,5%	Fe2O3	1,0%	Fe2O3	1,5%	Fe2O3	2,0%	Fe2O3	2,5%	Fe2O3	3,0%	Fe2O3	3,5%	Fe2O3	4,0%

Voir photographie N° 5 Page 51

Conclusions :

- Avec 4 % d'oxyde de fer, le rouge a disparu, on a encore un gris-brun à reflets roux très fluide .

- Jusqu'à 1% environ, la couleur reste acceptable, ensuite, la transparence augmente et le gris-brun "prend le dessus".

- Le fait que la couleur ne soit pas trop perturbée par une petite quantité d'oxyde de fer est plutôt

rassurant étant donné qu'on en trouve toujours dans les matériaux naturels que nous utilisons pour composer les glaçures.

Remarque :

On trouve souvent dans les formules publiées une addition d'un très faible pourcentage d'oxyde de fer, il ne me semble pas que ceci s'impose, sauf si on recherche, pour une expression particulières, une modification de la couleur.

Addition d'oxyde de titane dans un rouge

Le titane modifie quasiment toutes les couleurs, modifie-t-il le rouge et si oui, quelles nuances permet-il de créer ?

Pour répondre à cette question, au moins partiellement, j'ai additionné entre 0 et 8 % de titane dans RVNa (fiche technique page 20) en utilisant les mélanges en ligne à 9 compositions.

1		2		3		4		5		6		7		8		9	
RVNa	100,0%	RVNa	99,0%	RVNa	98,0%	RVNa	97,0%	RVNa	96,0%	RVNa	95,0%	RVNa	94,0%	RVNa	93,0%	RVNa	92,0%
TiO2	0,0%	TiO2	1,0%	TiO2	2,0%	TiO2	3,0%	TiO2	4,0%	TiO2	5,0%	TiO2	6,0%	TiO2	7,0%	TiO2	8,0%

Voir photographie N° 6 Page 51

Conclusions :

- Le résultat obtenu dépend de la température finale : avec une température basse, il y a opacification de la glaçure pour les plus fortes concentrations en oxyde de titane. Pour des températures de l'ordre de 1310°C, seule la glaçure contenant 8% d'oxyde de titane est opaque, par ailleurs, lorsque l'opacification est totale, la couleur rouge disparaît totalement pour laisser la place un blanc laiteux mat.

- Avec de faibles ajouts, la couleur s'assombrit, avec des ajouts plus importants on passe au rouge violacé, puis au bleu mauve et enfin au blanc bleuté.

- Il s'agit donc d'un modificateur de teint très important, il est d'ailleurs très utilisé.

Remarque :

On pourrait essayer l'addition de nombreux autres oxydes en particulier du cobalt, du chrome, du nickel... Je m'en suis tenu au minimum. À vrai dire, souvent celui qui cherche du rouge, cherche une certaine pureté de la couleur, même si les productions de Dalpayrat sont là pour me contredire.

La silice et l'alumine

Dans toute glaçure, le rapport silice sur alumine est important, mais en général les valeurs "en soi" des concentrations ces deux composants fondamentaux sont également très importantes : on ne parvient pas à de gros cristaux si on a une teneur en alumine de l'ordre de 0,7 dans une formule tripartite par exemple.

Ce rapport doit être à peu près correct dans RVNa puisque nous obtenons du rouge. On peut donc partir de cette composition pour explorer le "plan" silice / alumine en conservant les valeurs du nombre de moles de tous les autres produits dans la formule tripartite, qui dans ce cas précis se trouve également être la formule de Seger.

Un problème se pose : comment diminuer, de manière importante, la quantité de silice et d'alumine si on continue à utiliser des feldspaths qui en contiennent beaucoup ? C'est tout simplement impossible en ce qui concerne l'alumine au moins puisqu'il n'y a dans la formule ni kaolin ni alumine pure, nous pourrions seulement diminuer la silice. Si nous voulons aller vers des valeurs basses de la silice et de l'alumine, il faudra utiliser une fritte, dans ce cas une fritte alcaline.

Je propose deux études successives : la première portera sur les valeurs hautes de la silice et de l'alumine et les recettes seront réalisées sans fritte, la deuxième pour les valeurs basses et j'utiliserai alors la fritte FR4 de Solargil qui la seule fritte alcaline que je peux me procurer localement sans problème.

Variation sans utilisation de fritte

Dans RVNa, l'alumine est à 0,296 et la silice à 2,8. Nous allons faire varier l'alumine de 0,296 à 0,4 et la silice de 2,5 à 4 avec la méthode des mélanges en carré.

Les compositions obtenues sont les suivantes

1 B		2		3		4		5 C	
Feld.Na	440	Feld.Na	438	Feld.Na	435	Feld.Na	433	Feld.Na	430
Talc	32	Talc	32	Talc	31	Talc	31	Talc	30
Craie	175	Craie	173	Craie	172	Craie	170	Craie	168
M o l o c h i t e	0	M o l o c h i t e	18	M o l o c h i t e	36	M o l o c h i t e	53	M o l o c h i t e	71
S i l i c e	353	S i l i c e	340	S i l i c e	327	S i l i c e	314	S i l i c e	301
6		7		8		9		10	
Feld.Na	477	Feld.Na	473	Feld.Na	470	Feld.Na	466	Feld.Na	462
Talc	35	Talc	34	Talc	34	Talc	33	Talc	33
Craie	190	Craie	188	Craie	186	Craie	184	Craie	182
M o l o c h i t e	0	M o l o c h i t e	19	M o l o c h i t e	39	M o l o c h i t e	58	M o l o c h i t e	77
S i l i c e	299	S i l i c e	285	S i l i c e	272	S i l i c e	259	S i l i c e	246
11		12		13		14		15	
Feld.Na	514	Feld.Na	509	Feld.Na	504	Feld.Na	499	Feld.Na	494
Talc	38	Talc	37	Talc	37	Talc	36	Talc	36
Craie	205	Craie	202	Craie	200	Craie	198	Craie	196
M o l o c h i t e	0	M o l o c h i t e	21	M o l o c h i t e	42	M o l o c h i t e	62	M o l o c h i t e	83
S i l i c e	244	S i l i c e	231	S i l i c e	218	S i l i c e	205	S i l i c e	192
16		17		18		19		20	
Feld.Na	551	Feld.Na	545	Feld.Na	539	Feld.Na	532	Feld.Na	526
Talc	40	Talc	40	Talc	40	Talc	39	Talc	39
Craie	219	Craie	217	Craie	214	Craie	212	Craie	209
M o l o c h i t e	0	M o l o c h i t e	22	M o l o c h i t e	45	M o l o c h i t e	67	M o l o c h i t e	89
S i l i c e	190	S i l i c e	176	S i l i c e	163	S i l i c e	150	S i l i c e	137
21 A		22		23		24		25 D	
Feld.Na	588	Feld.Na	581	Feld.Na	573	Feld.Na	566	Feld.Na	558
Talc	43	Talc	43	Talc	43	Talc	42	Talc	42
Craie	234	Craie	231	Craie	229	Craie	226	Craie	223
M o l o c h i t e	0	M o l o c h i t e	24	M o l o c h i t e	48	M o l o c h i t e	71	M o l o c h i t e	95
S i l i c e	135	S i l i c e	122	S i l i c e	109	S i l i c e	95	S i l i c e	82

B 1		2		3		4		5 C	
Na2O	0,238	Na2O	0,240	Na2O	0,241	Na2O	0,243	Na2O	0,244
CaO	0,661	CaO	0,660	CaO	0,659	CaO	0,657	CaO	0,656
MgO	0,100	MgO	0,100	MgO	0,100	MgO	0,100	MgO	0,100
Al2O3	0,286	Al2O3	0,314	Al2O3	0,343	Al2O3	0,371	Al2O3	0,399
SiO2	4,010	SiO2	4,012	SiO2	4,014	SiO2	4,016	SiO2	4,018
6		7		8		9		10	
Na2O	0,238	Na2O	0,239	Na2O	0,241	Na2O	0,242	Na2O	0,243
CaO	0,661	CaO	0,660	CaO	0,659	CaO	0,658	CaO	0,657
MgO	0,100	MgO	0,100	MgO	0,100	MgO	0,100	MgO	0,100
Al2O3	0,289	Al2O3	0,316	Al2O3	0,343	Al2O3	0,371	Al2O3	0,398
SiO2	3,633	SiO2	3,635	SiO2	3,638	SiO2	3,641	SiO2	3,644
11		12		13		14		15	
Na2O	0,238	Na2O	0,239	Na2O	0,240	Na2O	0,241	Na2O	0,242
CaO	0,661	CaO	0,660	CaO	0,660	CaO	0,659	CaO	0,658
MgO	0,100	MgO	0,100	MgO	0,100	MgO	0,100	MgO	0,100
Al2O3	0,291	Al2O3	0,317	Al2O3	0,344	Al2O3	0,370	Al2O3	0,397
SiO2	3,255	SiO2	3,259	SiO2	3,262	SiO2	3,266	SiO2	3,269
16 ~ RVNa		17		18		19		20	
Na2O	0,238	Na2O	0,239	Na2O	0,240	Na2O	0,240	Na2O	0,241
CaO	0,661	CaO	0,661	CaO	0,660	CaO	0,660	CaO	0,659
MgO	0,100	MgO	0,100	MgO	0,100	MgO	0,100	MgO	0,100
Al2O3	0,294	Al2O3	0,319	Al2O3	0,345	Al2O3	0,370	Al2O3	0,396
SiO2	2,878	SiO2	2,882	SiO2	2,886	SiO2	2,890	SiO2	2,895
21 A		22		23		24		25 D	
Na2O	0,238	Na2O	0,239	Na2O	0,239	Na2O	0,240	Na2O	0,240
CaO	0,661	CaO	0,661	CaO	0,661	CaO	0,660	CaO	0,660
MgO	0,100	MgO	0,100	MgO	0,100	MgO	0,100	MgO	0,100
Al2O3	0,296	Al2O3	0,321	Al2O3	0,345	Al2O3	0,370	Al2O3	0,394
SiO2	2,500	SiO2	2,505	SiO2	2,510	SiO2	2,515	SiO2	2,520

Le point de départ de la recherche : RVNa se trouve approximativement au numéro 16.

Voir photographie N° 9 Page 52

Conclusions :

- Le numéro 16 est, dans cette cuisson, à peu près conforme à ce qu'il est d'habitude.
- Jusqu'à 0,35 moles d'alumine, le rouge est acceptable.
- Au delà de 3,5 moles de silice le rouge se détériore.
- En réalité, on voit que le meilleur rouge se trouve au N° 21, c'est à dire au minimum de la silice et de l'alumine. Avec ces matières premières, il serait sans doute judicieux de choisir cette composition qui correspond approximativement à :

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,3$$

$$\text{SiO}_2 = 2,5$$

Remarque :

- On obtient du rouge avec toutes les compositions, c'est la qualité du rouge qui change.
- On voit de suite qu'étudier l'influence de la silice et de l'alumine autour de leurs valeurs basses est indispensable, puisque c'est du côté de celles-ci qu'on a les meilleurs résultats.

Variation en utilisant une fritte alcaline

La fritte utilisée est la fritte FR4 de Solargil dont la composition est la suivante :

	oxydes "glaçants"			Alumine	Silice
Formule des oxydes	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
% masse d'oxydes glaçure cuite	11,4	13,2	7,7	1,4	66,2
formule moléculaire tripartite	0,400	0,300	0,300	0,030	2,400
	1,000			0,030	2,400
Pourcentage molaire	11,66	8,75	8,75	0,87	69,97

J'ai choisi de garder les mêmes oxydes alcalins que précédemment, comme la formule de FR4 ne le permet pas complètement, j'ai pris :



je garde CaO $\sim 0,661$

et Mg O $\sim 0,100$

La silice variera approximativement de 2,4 à 3 et l'alumine de 0,24 à 0,32 de telle manière que RVNa, réalisé avec la fritte FR4, soit dans le carré exploré et qu'on puisse éventuellement associer les deux plans silice / alumine (celui des valeurs fortes et celui des valeurs faibles). On devrait ainsi voir si RVNa au feldspath est identique à RVNa à la fritte FR4, ce n'est pas sans intérêt.

J'ai ajouté uniformément 0,8% de bouillie et 1,5 % d'oxyde d'étain.

Les recettes obtenues

B 1		2		3		4		5 C	
FR 4	240	FR 4	237	FR 4	235	FR 4	232	FR 4	229
Dolomie	69	Dolomie	69	Dolomie	68	Dolomie	68	Dolomie	67
Craie	156	Craie	155	Craie	154	Craie	153	Craie	152
molochite	186	molochite	201	molochite	217	molochite	232	molochite	247
Silice	348	Silice	337	Silice	326	Silice	315	Silice	304
6		7		8		9		10	
FR 4	248	FR 4	245	FR 4	243	FR 4	240	FR 4	237
Dolomie	72	Dolomie	71	Dolomie	71	Dolomie	70	Dolomie	70
Craie	162	Craie	160	Craie	159	Craie	158	Craie	157
molochite	193	molochite	208	molochite	224	molochite	240	molochite	256
Silice	325	Silice	314	Silice	303	Silice	292	Silice	281
11		12		13		14		15	
FR 4	257	FR 4	254	FR 4	251	FR 4	248	FR 4	245
Dolomie	74	Dolomie	74	Dolomie	73	Dolomie	73	Dolomie	72
Craie	167	Craie	166	Craie	165	Craie	163	Craie	162
molochite	199	molochite	215	molochite	232	molochite	248	molochite	264
Silice	303	Silice	291	Silice	280	Silice	268	Silice	257
16		17		18		19		20	
FR 4	265	FR 4	262	FR 4	259	FR 4	255	FR 4	252
Dolomie	77	Dolomie	76	Dolomie	76	Dolomie	75	Dolomie	75
Craie	173	Craie	171	Craie	170	Craie	168	Craie	167
molochite	206	molochite	222	molochite	239	molochite	256	molochite	273
Silice	280	Silice	268	Silice	257	Silice	245	Silice	234
21 A		22		23		24		25 D	
FR 4	273	FR 4	270	FR 4	267	FR 4	263	FR 4	260
Dolomie	79	Dolomie	79	Dolomie	78	Dolomie	78	Dolomie	77
Craie	178	Craie	177	Craie	175	Craie	174	Craie	172
molochite	212	molochite	229	molochite	247	molochite	264	molochite	281
Silice	257	Silice	245	Silice	234	Silice	222	Silice	210

B 1		2		3		4		5 C	
Na2O	0,130	Na2O	0,130	Na2O	0,129	Na2O	0,129	Na2O	0,128
K2O	0,106	K2O	0,106	K2O	0,107	K2O	0,107	K2O	0,107
CaO	0,659	CaO	0,659	CaO	0,659	CaO	0,659	CaO	0,659
MgO	0,106	MgO	0,106	MgO	0,106	MgO	0,106	MgO	0,106
Al2O3	0,237	Al2O3	0,258	Al2O3	0,279	Al2O3	0,299	Al2O3	0,320
SiO2	2,960	SiO2	2,960	SiO2	2,960	SiO2	2,960	SiO2	2,960
6		7		8		9 ~ RVNa		10	
Na2O	0,130	Na2O	0,129	Na2O	0,129	Na2O	0,128	Na2O	0,128
K2O	0,106	K2O	0,106	K2O	0,106	K2O	0,107	K2O	0,107
CaO	0,659	CaO	0,659	CaO	0,659	CaO	0,659	CaO	0,659
MgO	0,106	MgO	0,106	MgO	0,106	MgO	0,106	MgO	0,106
Al2O3	0,237	Al2O3	0,258	Al2O3	0,279	Al2O3	0,299	Al2O3	0,320
SiO2	2,810	SiO2	2,810	SiO2	2,810	SiO2	2,810	SiO2	2,810
11		12		13		14		15	
Na2O	0,130	Na2O	0,129	Na2O	0,128	Na2O	0,128	Na2O	0,128
K2O	0,106	K2O	0,106	K2O	0,106	K2O	0,107	K2O	0,107
CaO	0,659	CaO	0,659	CaO	0,659	CaO	0,659	CaO	0,660
MgO	0,106	MgO	0,106	MgO	0,106	MgO	0,106	MgO	0,107
Al2O3	0,237	Al2O3	0,258	Al2O3	0,278	Al2O3	0,299	Al2O3	0,320
SiO2	2,660	SiO2	2,660	SiO2	2,637	SiO2	2,660	SiO2	2,660
16		17		18		19		20	
Na2O	0,129	Na2O	0,129	Na2O	0,129	Na2O	0,128	Na2O	0,128
K2O	0,105	K2O	0,106	K2O	0,106	K2O	0,107	K2O	0,107
CaO	0,659	CaO	0,659	CaO	0,659	CaO	0,660	CaO	0,660
MgO	0,106	MgO	0,106	MgO	0,106	MgO	0,107	MgO	0,107
Al2O3	0,237	Al2O3	0,258	Al2O3	0,279	Al2O3	0,299	Al2O3	0,320
SiO2	2,509	SiO2	2,509	SiO2	2,510	SiO2	2,510	SiO2	2,510
21 A		22		23		24		25 D	
Na2O	0,129	Na2O	0,129	Na2O	0,129	Na2O	0,128	Na2O	0,128
K2O	0,105	K2O	0,106	K2O	0,106	K2O	0,107	K2O	0,107
CaO	0,659	CaO	0,659	CaO	0,660	CaO	0,660	CaO	0,660
MgO	0,106	MgO	0,106	MgO	0,107	MgO	0,107	MgO	0,107
Al2O3	0,237	Al2O3	0,258	Al2O3	0,279	Al2O3	0,299	Al2O3	0,320
SiO2	2,359	SiO2	2,359	SiO2	2,360	SiO2	2,360	SiO2	2,360

Le point de départ de la recherche : RVNa se trouve approximativement au numéro 9.

Voir photographie N° 10 Page 53

Conclusions :

- Le rouge est dans l'ensemble bon, j'aurais dû explorer un plan silice / alumine un peu plus grand jusqu'à obtenir une glaçure défectueuse sur les bords de la zone explorée.
- On obtient des teintes plus sombres et plus soutenues qu'avec le feldspath.
- RVNa au feldspath ne ressemble pas à RVNa sans feldspath, ceci peut sans doute s'expliquer par un début de fusion plus rapide de la glaçure à la fritte, le cuivre se trouvant donc piégé plus tôt et son évaporation en étant diminuée d'autant. Par ailleurs la glaçure est globalement plus fluide que la glaçure feldspathique (on sait que les feldspaths ont des zones de viscosité très étendues).
- Des débuts de cristallisation importants sont à remarquer pour les valeurs les plus basses de la silice et de l'alumine malgré un refroidissement rapide.

Les matières autres que les colorants, la silice et l'alumine

En général, la nature des alcalins, des alcalino-terreux et des autres éléments comme le bore, le phosphore ou le plomb ne sont pas sans influence sur l'aspect de la glaçure, ce ne sont pas que des "fondants", ce sont des corps qui vont donner du velouté, de la brillance, de la transparence ou de l'opacité, de la viscosité ou de la fluidité, dans la cas qui nous concerne, ils nous permettront d'atteindre des roses ou des rouges cramoisis... si nous les choisissons bien.

J'envisagerai le rôle du bore introduit à l'aide d'une fritte ou de borocalcite (seul composé du bore insoluble disponible), puis l'influence du choix des alcalins sur la couleur et la texture, je terminerai par les alcalino-terreux et la substitution alcalino-terreux / alcalins.

Le bore

Le bore est un élément souvent rencontré dans les recettes de rouges, c'est un constituant essentiel de certains verres et c'est aussi un corps qui a en grande partie remplacé le plomb pour les vernis de basse température, il a l'avantage de n'être pas toxique.

C'est donc un "fondant" qui présente en outre la particularité d'avoir une tension superficielle basse, ce qui donne parfois aux glaçures un aspect de "peau d'orange".

J'ai choisi d'introduire le bore dans un premier temps avec la fritte FR7 de Solargil. La formule tripartite sera gardée "constante" avec des valeurs de 0,3 pour l'alumine et 2,7 pour la silice. J'ai ajouté 0,8 % de bouillie et 1,5 % d'oxyde d'étain.

Introduction de bore à l'aide de la fritte FR7

Les compositions réalisées

1		2		3		4		5		6		7		8		9	
FR7	0	FR7	20	FR7	41	FR7	61	FR7	81	FR7	101	FR7	122	FR7	142	FR7	162
f. Na	399	f. Na	369	f. Na	338	f. Na	308	f. Na	278	f. Na	247	f. Na	217	f. Na	186	f. Na	156
f. K	152	f. K	133	f. K	114	f. K	95	f. K	76	f. K	57	f. K	38	f. K	19	f. K	0
Talc	18	Talc	18	Talc	18	Talc	18	Talc	18	Talc	17	Talc	17	Talc	17	Talc	17
Craie	196	Craie	192	Craie	188	Craie	184	Craie	180	Craie	176	Craie	172	Craie	168	Craie	164
cBa	67	cBa	66	cBa	64	cBa	63	cBa	61	cBa	60	cBa	58	cBa	57	cBa	55
molo.	0	molo.	19	molo.	39	molo.	58	molo.	78	molo.	97	molo.	116	molo.	136	molo.	155
Silice	169	Silice	184	Silice	200	Silice	215	Silice	231	Silice	246	Silice	261	Silice	277	Silice	292

1		2		3		4		5		6		7		8		9	
Na2O	0,200	Na2O	0,193	Na2O	0,186	Na2O	0,179	Na2O	0,172	Na2O	0,164	Na2O	0,157	Na2O	0,150	Na2O	0,143
K2O	0,050	K2O	0,051	K2O	0,052	K2O	0,053	K2O	0,054	K2O	0,054	K2O	0,055	K2O	0,056	K2O	0,057
CaO	0,600	CaO	0,531	CaO	0,462	CaO	0,393	CaO	0,324	CaO	0,255	CaO	0,186	CaO	0,117	CaO	0,048
MgO	0,050	MgO	0,049	MgO	0,048	MgO	0,046	MgO	0,045	MgO	0,044	MgO	0,043	MgO	0,041	MgO	0,040
BaO	0,100	BaO	0,098	BaO	0,095	BaO	0,093	BaO	0,090	BaO	0,088	BaO	0,085	BaO	0,083	BaO	0,080
B2O3	0,000	B2O3	0,025	B2O3	0,050	B2O3	0,075	B2O3	0,100	B2O3	0,125	B2O3	0,150	B2O3	0,175	B2O3	0,200
Al2O3	0,300	Al2O3	0,300	Al2O3	0,300	Al2O3	0,300	Al2O3	0,300	Al2O3	0,300	Al2O3	0,300	Al2O3	0,300	Al2O3	0,300
SiO2	2,700	SiO2	2,700	SiO2	2,700	SiO2	2,700	SiO2	2,700	SiO2	2,700	SiO2	2,700	SiO2	2,700	SiO2	2,700

Voir photographie N° 7 Page 51

Conclusions :

- Le rouge de départ, sans bore, avait tendance à se décolorer dans la cuisson présentée (température un peu haute), avec le bore la couleur tient mieux, elle se renforce petit à petit puis s'assombrit, vire progressivement vers des teintes violine pour terminer, avec les plus fortes concentrations, dans un noir violacé assez coulant.

Le bore est donc essentiellement un corps qui empêche la disparition de la couleur, malheureusement, il la modifie dans un sens qu'on peut ne pas apprécier.

Introduction de bore à l'aide de borocalcite

Je suis parti une fois de plus de RVNa d'une part et d'un mélange de 90 % de RVNa et de 10 % de borocalcite (Céradel) et j'ai réalisé 9 mélanges par la méthode habituelle. Les compositions sont donc les suivantes :

1		2		3		4		5		6		7		8		9	
RVNa	100	RVNa	99	RVNa	98	RVNa	96	RVNa	95	RVNa	94	RVNa	93	RVNa	91	RVNa	90
Boro.	0	Boro.	1	Boro.	3	Boro.	4	Boro.	5	Boro.	6	Boro.	8	Boro.	9	Boro.	10

Voir photographie N° 8 Page 51

J'ai réalisé trois cuissons un peu différentes, les résultats me paraissent difficiles à interpréter. Dans la première qui était en réalité une cuisson de bleu de fer avec un refroidissement un peu plus lent que celui que j'utilise pour les rouges, le seul effet est de faire disparaître les cristaux dans RVNa, 2,5 % suffisent. La couleur n'est pas affectée par cet ajout. Dans la seconde, très classique, l'aspect de la glaçure se dégrade plutôt avec l'addition de borocalcite, on s'éloigne du rubis de départ et la glaçure devient plus fluide. La troisième donne des résultats plus proches de ce qu'on obtient avec une fritte : la glaçure s'assombrit sérieusement à partir d'un ajout de 5 %.

Conclusions :

- La borocalcite peut avoir un effet sur la glaçure mais celui-ci est difficile à reproduire. Cet effet n'est pas forcément bénéfique.

- Il n'y a pas eu de décollements sur les pastilles d'essais, avec 10 % de borocalcite, il est probable que celui-ci se serait produit sur l'extérieur de pièces de dimensions plus importantes.

- Je ne conseille pas l'utilisation de la borocalcite au delà d'une proportion de 5%, en ce qui me concerne, je ne l'emploie pas du tout.

Les alcalins

Deux questions se posent à propos des alcalins : quels sont les alcalins les plus favorables aux rouges de cuivre et quelle est la meilleure proportion alcalins / alcalino-terreux ?

Dans ce paragraphe, je vais simplement envisager la première question. Les trois premiers alcalins sont les seuls utilisés en céramique. On a vu au cours de la comparaison des rouges que le sodium est le plus employé, je vais donc essayer de le substituer successivement par du potassium et du lithium, dans un rouge qui fonctionne bien : RVNa. Je garderai dans la mesure du possible tous les autres éléments constants au cours de la substitution.

Substitution du sodium par du potassium dans RVNa (feldspaths)

1		2		3		4		5		6		7		8		9	
Na2O	0,238	Na2O	0,211	Na2O	0,183	Na2O	0,156	Na2O	0,128	Na2O	0,101	Na2O	0,073	Na2O	0,046	Na2O	0,018
K2O	0,000	K2O	0,028	K2O	0,055	K2O	0,083	K2O	0,110	K2O	0,138	K2O	0,165	K2O	0,193	K2O	0,220
CaO	0,661	CaO	0,661	CaO	0,661	CaO	0,661	CaO	0,661	CaO	0,661	CaO	0,661	CaO	0,661	CaO	0,661
MgO	0,100	MgO	0,100	MgO	0,100	MgO	0,100	MgO	0,100	MgO	0,100	MgO	0,100	MgO	0,100	MgO	0,100
Al2O3	0,296	Al2O3	0,296	Al2O3	0,296	Al2O3	0,296	Al2O3	0,296	Al2O3	0,296	Al2O3	0,296	Al2O3	0,296	Al2O3	0,296
SiO2	2,800	SiO2	2,800	SiO2	2,800	SiO2	2,800	SiO2	2,800	SiO2	2,800	SiO2	2,800	SiO2	2,800	SiO2	2,800

Voir photographie N° 11 Page 54

Conclusions :

- Avec un feldspath (Blin) presque exclusivement potassique (moins fusible), on obtient un rose mat intéressant, mais on peut constater que la nature du feldspath n'est pas indifférente. Si on chauffe un peu plus le rouge revient, mais avec une nuance bleutée le plus souvent.

Substitution du sodium par du lithium dans RVNa

(Le rouge au lithium est réalisé à l'aide de carbonate de Li)

1		2		3		4		5		6		7		8		9	
Na2O	0,238	Na2O	0,208	Na2O	0,179	Na2O	0,149	Na2O	0,120	Na2O	0,090	Na2O	0,060	Na2O	0,031	Na2O	0,001
K2O	0,000	K2O	0,002	K2O	0,003	K2O	0,005	K2O	0,006	K2O	0,008	K2O	0,009	K2O	0,011	K2O	0,012
Li2O	0,000	Li2O	0,028	Li2O	0,057	Li2O	0,085	Li2O	0,113	Li2O	0,141	Li2O	0,170	Li2O	0,198	Li2O	0,226
CaO	0,661	CaO	0,661	CaO	0,661	CaO	0,661	CaO	0,661	CaO	0,661	CaO	0,661	CaO	0,661	CaO	0,661
MgO	0,100	MgO	0,100	MgO	0,100	MgO	0,100	MgO	0,100	MgO	0,100	MgO	0,100	MgO	0,100	MgO	0,100
Al2O3	0,296	Al2O3	0,296	Al2O3	0,296	Al2O3	0,296	Al2O3	0,296	Al2O3	0,296	Al2O3	0,296	Al2O3	0,296	Al2O3	0,296
SiO2	2,800	SiO2	2,800	SiO2	2,800	SiO2	2,800	SiO2	2,800	SiO2	2,800	SiO2	2,800	SiO2	2,800	SiO2	2,800

Voir photographie N° 12 Page 54

Conclusions :

- Avec du carbonate de lithium, on assiste à une amélioration assez sensible de la couleur qui devient plus soutenue, plus profonde et moins "lourde"; on peut sans doute attribuer ceci à une fusibilité accrue et donc à un "piégeage" plus précoce de la couleur accompagné d'une fluidité plus propice à la cristallisation du cuivre métal.

- J'ai fait des essais semblables avec de la pétalite, je n'ai pas observé d'amélioration du rouge, au contraire il est devenu moins vif, cependant je pense qu'il ne faut accorder à cette remarque qu'importance relative étant donné le peu de confiance que j'ai dans la formule de la pétalite que j'ai employée.

Les alcalino-terreux

Dans toutes les recettes nous trouvons du calcium, mais dans de nombreuses publications, nous trouvons également du magnésium et du baryum.

Partant encore une fois de RVNa, je lui ai soustrait le magnésium, je l'ai remplacé par du calcium, j'ai obtenu une formule qui ne faisait apparaître que du sodium et du calcium (A), en dehors de la silice, de l'alumine et des colorants, ensuite j'ai gardé la même formule, mais j'ai remplacé le calcium en totalité, successivement par du magnésium (C) puis par du baryum (B). Par la méthode des mélanges en triangle, j'ai combiné ces trois préparations, de telle manière qu'on puisse voir quelle est la meilleure association d'alcalino-terreux.

Remarque : les préparations ne contiennent que 0,5% d'oxyde d'étain et 1% de bouillie bordelaise

Compositions réalisées

B=1/Ba <table><tr><td>f. Na</td><td>432</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>400</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>0</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>8</td></tr><tr><td>Silice</td><td>160</td></tr></table>		f. Na	432	craie	0	c.Mg	0	c.Ba	400	Alum.	0	Molo.	8	Silice	160	2 <table><tr><td>f. Na</td><td>459</td></tr><tr><td>craie</td><td>63</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>300</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>0</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>9</td></tr><tr><td>Silice</td><td>170</td></tr></table>		f. Na	459	craie	63	c.Mg	0	c.Ba	300	Alum.	0	Molo.	9	Silice	170	3 <table><tr><td>f. Na</td><td>465</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>54</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>300</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>1</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>6</td></tr><tr><td>Silice</td><td>174</td></tr></table>		f. Na	465	craie	0	c.Mg	54	c.Ba	300	Alum.	1	Molo.	6	Silice	174																																
		f. Na	432																																																																												
		craie	0																																																																												
		c.Mg	0																																																																												
		c.Ba	400																																																																												
		Alum.	0																																																																												
		Molo.	8																																																																												
Silice	160																																																																														
f. Na	459																																																																														
craie	63																																																																														
c.Mg	0																																																																														
c.Ba	300																																																																														
Alum.	0																																																																														
Molo.	9																																																																														
Silice	170																																																																														
f. Na	465																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	54																																																																														
c.Ba	300																																																																														
Alum.	1																																																																														
Molo.	6																																																																														
Silice	174																																																																														
4 <table><tr><td>f. Na</td><td>486</td></tr><tr><td>craie</td><td>125</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>200</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>0</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>9</td></tr><tr><td>Silice</td><td>180</td></tr></table>		f. Na	486	craie	125	c.Mg	0	c.Ba	200	Alum.	0	Molo.	9	Silice	180	5 <table><tr><td>f. Na</td><td>492</td></tr><tr><td>craie</td><td>63</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>54</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>200</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>1</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>7</td></tr><tr><td>Silice</td><td>184</td></tr></table>		f. Na	492	craie	63	c.Mg	54	c.Ba	200	Alum.	1	Molo.	7	Silice	184	6 <table><tr><td>f. Na</td><td>499</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>108</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>200</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>2</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>4</td></tr><tr><td>Silice</td><td>188</td></tr></table>		f. Na	499	craie	0	c.Mg	108	c.Ba	200	Alum.	2	Molo.	4	Silice	188																																
		f. Na	486																																																																												
		craie	125																																																																												
		c.Mg	0																																																																												
		c.Ba	200																																																																												
		Alum.	0																																																																												
		Molo.	9																																																																												
Silice	180																																																																														
f. Na	492																																																																														
craie	63																																																																														
c.Mg	54																																																																														
c.Ba	200																																																																														
Alum.	1																																																																														
Molo.	7																																																																														
Silice	184																																																																														
f. Na	499																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	108																																																																														
c.Ba	200																																																																														
Alum.	2																																																																														
Molo.	4																																																																														
Silice	188																																																																														
7 <table><tr><td>f. Na</td><td>513</td></tr><tr><td>craie</td><td>188</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>100</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>0</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>10</td></tr><tr><td>Silice</td><td>190</td></tr></table>		f. Na	513	craie	188	c.Mg	0	c.Ba	100	Alum.	0	Molo.	10	Silice	190	8 <table><tr><td>f. Na</td><td>519</td></tr><tr><td>craie</td><td>125</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>54</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>100</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>1</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>7</td></tr><tr><td>Silice</td><td>194</td></tr></table>		f. Na	519	craie	125	c.Mg	54	c.Ba	100	Alum.	1	Molo.	7	Silice	194	9 <table><tr><td>f. Na</td><td>526</td></tr><tr><td>craie</td><td>63</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>108</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>100</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>2</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>5</td></tr><tr><td>Silice</td><td>198</td></tr></table>		f. Na	526	craie	63	c.Mg	108	c.Ba	100	Alum.	2	Molo.	5	Silice	198	10 <table><tr><td>f. Na</td><td>532</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>161</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>100</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>3</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>2</td></tr><tr><td>Silice</td><td>202</td></tr></table>		f. Na	532	craie	0	c.Mg	161	c.Ba	100	Alum.	3	Molo.	2	Silice	202																
		f. Na	513																																																																												
		craie	188																																																																												
		c.Mg	0																																																																												
		c.Ba	100																																																																												
		Alum.	0																																																																												
		Molo.	10																																																																												
Silice	190																																																																														
f. Na	519																																																																														
craie	125																																																																														
c.Mg	54																																																																														
c.Ba	100																																																																														
Alum.	1																																																																														
Molo.	7																																																																														
Silice	194																																																																														
f. Na	526																																																																														
craie	63																																																																														
c.Mg	108																																																																														
c.Ba	100																																																																														
Alum.	2																																																																														
Molo.	5																																																																														
Silice	198																																																																														
f. Na	532																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	161																																																																														
c.Ba	100																																																																														
Alum.	3																																																																														
Molo.	2																																																																														
Silice	202																																																																														
A=11/Ca <table><tr><td>f. Na</td><td>540</td></tr><tr><td>craie</td><td>250</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>0</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>10</td></tr><tr><td>Silice</td><td>200</td></tr></table>		f. Na	540	craie	250	c.Mg	0	c.Ba	0	Alum.	0	Molo.	10	Silice	200	12 <table><tr><td>f. Na</td><td>546</td></tr><tr><td>craie</td><td>188</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>54</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>1</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>8</td></tr><tr><td>Silice</td><td>204</td></tr></table>		f. Na	546	craie	188	c.Mg	54	c.Ba	0	Alum.	1	Molo.	8	Silice	204	13 <table><tr><td>f. Na</td><td>553</td></tr><tr><td>craie</td><td>125</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>108</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>2</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>5</td></tr><tr><td>Silice</td><td>208</td></tr></table>		f. Na	553	craie	125	c.Mg	108	c.Ba	0	Alum.	2	Molo.	5	Silice	208	14 <table><tr><td>f. Na</td><td>559</td></tr><tr><td>craie</td><td>63</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>161</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>3</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>3</td></tr><tr><td>Silice</td><td>212</td></tr></table>		f. Na	559	craie	63	c.Mg	161	c.Ba	0	Alum.	3	Molo.	3	Silice	212	C=15/Mg <table><tr><td>f. Na</td><td>565</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>215</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>4</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>216</td></tr></table>		f. Na	565	craie	0	c.Mg	215	c.Ba	0	Alum.	4	Molo.	0	Silice	216
		f. Na	540																																																																												
		craie	250																																																																												
		c.Mg	0																																																																												
		c.Ba	0																																																																												
		Alum.	0																																																																												
		Molo.	10																																																																												
Silice	200																																																																														
f. Na	546																																																																														
craie	188																																																																														
c.Mg	54																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	1																																																																														
Molo.	8																																																																														
Silice	204																																																																														
f. Na	553																																																																														
craie	125																																																																														
c.Mg	108																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	2																																																																														
Molo.	5																																																																														
Silice	208																																																																														
f. Na	559																																																																														
craie	63																																																																														
c.Mg	161																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	3																																																																														
Molo.	3																																																																														
Silice	212																																																																														
f. Na	565																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	215																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	4																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	216																																																																														
11 <table><tr><td>f. Na</td><td>521</td></tr><tr><td>craie</td><td>125</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>54</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>100</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>1</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>7</td></tr><tr><td>Silice</td><td>194</td></tr></table>		f. Na	521	craie	125	c.Mg	54	c.Ba	100	Alum.	1	Molo.	7	Silice	194	15 <table><tr><td>f. Na</td><td>538</td></tr><tr><td>craie</td><td>63</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>108</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>100</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>2</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>5</td></tr><tr><td>Silice</td><td>198</td></tr></table>		f. Na	538	craie	63	c.Mg	108	c.Ba	100	Alum.	2	Molo.	5	Silice	198																																																
		f. Na	521																																																																												
		craie	125																																																																												
		c.Mg	54																																																																												
		c.Ba	100																																																																												
		Alum.	1																																																																												
Molo.	7																																																																														
Silice	194																																																																														
f. Na	538																																																																														
craie	63																																																																														
c.Mg	108																																																																														
c.Ba	100																																																																														
Alum.	2																																																																														
Molo.	5																																																																														
Silice	198																																																																														
16 <table><tr><td>f. Na</td><td>555</td></tr><tr><td>craie</td><td>63</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>161</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>3</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>3</td></tr><tr><td>Silice</td><td>212</td></tr></table>		f. Na	555	craie	63	c.Mg	161	c.Ba	0	Alum.	3	Molo.	3	Silice	212	17 <table><tr><td>f. Na</td><td>572</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>215</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>4</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>216</td></tr></table>		f. Na	572	craie	0	c.Mg	215	c.Ba	0	Alum.	4	Molo.	0	Silice	216																																																
		f. Na	555																																																																												
		craie	63																																																																												
		c.Mg	161																																																																												
		c.Ba	0																																																																												
Alum.	3																																																																														
Molo.	3																																																																														
Silice	212																																																																														
f. Na	572																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	215																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	4																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	216																																																																														
18 <table><tr><td>f. Na</td><td>590</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>270</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>5</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>220</td></tr></table>		f. Na	590	craie	0	c.Mg	270	c.Ba	0	Alum.	5	Molo.	0	Silice	220	19 <table><tr><td>f. Na</td><td>607</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>324</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>6</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>224</td></tr></table>		f. Na	607	craie	0	c.Mg	324	c.Ba	0	Alum.	6	Molo.	0	Silice	224																																																
		f. Na	590																																																																												
		craie	0																																																																												
		c.Mg	270																																																																												
c.Ba	0																																																																														
Alum.	5																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	220																																																																														
f. Na	607																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	324																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	6																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	224																																																																														
20 <table><tr><td>f. Na</td><td>625</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>378</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>7</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>228</td></tr></table>		f. Na	625	craie	0	c.Mg	378	c.Ba	0	Alum.	7	Molo.	0	Silice	228	21 <table><tr><td>f. Na</td><td>643</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>432</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>8</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>232</td></tr></table>		f. Na	643	craie	0	c.Mg	432	c.Ba	0	Alum.	8	Molo.	0	Silice	232																																																
		f. Na	625																																																																												
		craie	0																																																																												
c.Mg	378																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	7																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	228																																																																														
f. Na	643																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	432																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	8																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	232																																																																														
22 <table><tr><td>f. Na</td><td>661</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>486</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>9</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>236</td></tr></table>		f. Na	661	craie	0	c.Mg	486	c.Ba	0	Alum.	9	Molo.	0	Silice	236	23 <table><tr><td>f. Na</td><td>679</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>540</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>10</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>240</td></tr></table>		f. Na	679	craie	0	c.Mg	540	c.Ba	0	Alum.	10	Molo.	0	Silice	240																																																
		f. Na	661																																																																												
craie	0																																																																														
c.Mg	486																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	9																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	236																																																																														
f. Na	679																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	540																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	10																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	240																																																																														
24 <table><tr><td>f. Na</td><td>697</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>594</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>11</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>244</td></tr></table>		f. Na	697	craie	0	c.Mg	594	c.Ba	0	Alum.	11	Molo.	0	Silice	244	25 <table><tr><td>f. Na</td><td>715</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>648</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>12</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>248</td></tr></table>		f. Na	715	craie	0	c.Mg	648	c.Ba	0	Alum.	12	Molo.	0	Silice	248																																																
		f. Na	697																																																																												
craie	0																																																																														
c.Mg	594																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	11																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	244																																																																														
f. Na	715																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	648																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	12																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	248																																																																														
26 <table><tr><td>f. Na</td><td>733</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>702</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>13</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>252</td></tr></table>		f. Na	733	craie	0	c.Mg	702	c.Ba	0	Alum.	13	Molo.	0	Silice	252	27 <table><tr><td>f. Na</td><td>751</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>756</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>14</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>256</td></tr></table>		f. Na	751	craie	0	c.Mg	756	c.Ba	0	Alum.	14	Molo.	0	Silice	256																																																
		f. Na	733																																																																												
craie	0																																																																														
c.Mg	702																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	13																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	252																																																																														
f. Na	751																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	756																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	14																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	256																																																																														
28 <table><tr><td>f. Na</td><td>769</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>810</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>15</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>260</td></tr></table>		f. Na	769	craie	0	c.Mg	810	c.Ba	0	Alum.	15	Molo.	0	Silice	260	29 <table><tr><td>f. Na</td><td>787</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>864</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>16</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>264</td></tr></table>		f. Na	787	craie	0	c.Mg	864	c.Ba	0	Alum.	16	Molo.	0	Silice	264																																																
		f. Na	769																																																																												
craie	0																																																																														
c.Mg	810																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	15																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	260																																																																														
f. Na	787																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	864																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	16																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	264																																																																														
29 <table><tr><td>f. Na</td><td>805</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>918</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>17</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>268</td></tr></table>		f. Na	805	craie	0	c.Mg	918	c.Ba	0	Alum.	17	Molo.	0	Silice	268	30 <table><tr><td>f. Na</td><td>823</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>972</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>18</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>272</td></tr></table>		f. Na	823	craie	0	c.Mg	972	c.Ba	0	Alum.	18	Molo.	0	Silice	272																																																
		f. Na	805																																																																												
craie	0																																																																														
c.Mg	918																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	17																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	268																																																																														
f. Na	823																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	972																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	18																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	272																																																																														
30 <table><tr><td>f. Na</td><td>841</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>1026</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>19</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>276</td></tr></table>		f. Na	841	craie	0	c.Mg	1026	c.Ba	0	Alum.	19	Molo.	0	Silice	276	31 <table><tr><td>f. Na</td><td>859</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>1080</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>20</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>280</td></tr></table>		f. Na	859	craie	0	c.Mg	1080	c.Ba	0	Alum.	20	Molo.	0	Silice	280																																																
		f. Na	841																																																																												
craie	0																																																																														
c.Mg	1026																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	19																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	276																																																																														
f. Na	859																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	1080																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	20																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	280																																																																														
31 <table><tr><td>f. Na</td><td>877</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>1134</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>21</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>284</td></tr></table>		f. Na	877	craie	0	c.Mg	1134	c.Ba	0	Alum.	21	Molo.	0	Silice	284	32 <table><tr><td>f. Na</td><td>895</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>1188</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>22</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>288</td></tr></table>		f. Na	895	craie	0	c.Mg	1188	c.Ba	0	Alum.	22	Molo.	0	Silice	288																																																
		f. Na	877																																																																												
craie	0																																																																														
c.Mg	1134																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	21																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	284																																																																														
f. Na	895																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	1188																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	22																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	288																																																																														
32 <table><tr><td>f. Na</td><td>913</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>1242</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>23</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>292</td></tr></table>		f. Na	913	craie	0	c.Mg	1242	c.Ba	0	Alum.	23	Molo.	0	Silice	292	33 <table><tr><td>f. Na</td><td>931</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>1296</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>24</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>296</td></tr></table>		f. Na	931	craie	0	c.Mg	1296	c.Ba	0	Alum.	24	Molo.	0	Silice	296																																																
		f. Na	913																																																																												
craie	0																																																																														
c.Mg	1242																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	23																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	292																																																																														
f. Na	931																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	1296																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	24																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	296																																																																														
33 <table><tr><td>f. Na</td><td>949</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>1350</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>25</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>300</td></tr></table>		f. Na	949	craie	0	c.Mg	1350	c.Ba	0	Alum.	25	Molo.	0	Silice	300	34 <table><tr><td>f. Na</td><td>967</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>1404</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>26</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>304</td></tr></table>		f. Na	967	craie	0	c.Mg	1404	c.Ba	0	Alum.	26	Molo.	0	Silice	304																																																
		f. Na	949																																																																												
craie	0																																																																														
c.Mg	1350																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	25																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	300																																																																														
f. Na	967																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	1404																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	26																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	304																																																																														
34 <table><tr><td>f. Na</td><td>985</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>1458</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>27</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>308</td></tr></table>		f. Na	985	craie	0	c.Mg	1458	c.Ba	0	Alum.	27	Molo.	0	Silice	308	35 <table><tr><td>f. Na</td><td>1003</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>1512</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>28</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>312</td></tr></table>		f. Na	1003	craie	0	c.Mg	1512	c.Ba	0	Alum.	28	Molo.	0	Silice	312																																																
		f. Na	985																																																																												
craie	0																																																																														
c.Mg	1458																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	27																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	308																																																																														
f. Na	1003																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	1512																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	28																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	312																																																																														
35 <table><tr><td>f. Na</td><td>1021</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>1566</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>29</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>316</td></tr></table>		f. Na	1021	craie	0	c.Mg	1566	c.Ba	0	Alum.	29	Molo.	0	Silice	316	36 <table><tr><td>f. Na</td><td>1039</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>1620</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>30</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>320</td></tr></table>		f. Na	1039	craie	0	c.Mg	1620	c.Ba	0	Alum.	30	Molo.	0	Silice	320																																																
		f. Na	1021																																																																												
craie	0																																																																														
c.Mg	1566																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	29																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	316																																																																														
f. Na	1039																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	1620																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	30																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	320																																																																														
36 <table><tr><td>f. Na</td><td>1057</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>1674</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>31</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>324</td></tr></table>		f. Na	1057	craie	0	c.Mg	1674	c.Ba	0	Alum.	31	Molo.	0	Silice	324	37 <table><tr><td>f. Na</td><td>1075</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>1728</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>32</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>328</td></tr></table>		f. Na	1075	craie	0	c.Mg	1728	c.Ba	0	Alum.	32	Molo.	0	Silice	328																																																
		f. Na	1057																																																																												
craie	0																																																																														
c.Mg	1674																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	31																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	324																																																																														
f. Na	1075																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	1728																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	32																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	328																																																																														
37 <table><tr><td>f. Na</td><td>1093</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>1782</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>33</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>332</td></tr></table>		f. Na	1093	craie	0	c.Mg	1782	c.Ba	0	Alum.	33	Molo.	0	Silice	332	38 <table><tr><td>f. Na</td><td>1111</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>1836</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>34</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>336</td></tr></table>		f. Na	1111	craie	0	c.Mg	1836	c.Ba	0	Alum.	34	Molo.	0	Silice	336																																																
		f. Na	1093																																																																												
craie	0																																																																														
c.Mg	1782																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	33																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	332																																																																														
f. Na	1111																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	1836																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	34																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	336																																																																														
38 <table><tr><td>f. Na</td><td>1129</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>1890</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>35</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>340</td></tr></table>		f. Na	1129	craie	0	c.Mg	1890	c.Ba	0	Alum.	35	Molo.	0	Silice	340	39 <table><tr><td>f. Na</td><td>1147</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>1944</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>36</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>344</td></tr></table>		f. Na	1147	craie	0	c.Mg	1944	c.Ba	0	Alum.	36	Molo.	0	Silice	344																																																
		f. Na	1129																																																																												
craie	0																																																																														
c.Mg	1890																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	35																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	340																																																																														
f. Na	1147																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	1944																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	36																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	344																																																																														
39 <table><tr><td>f. Na</td><td>1165</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>1998</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>37</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>348</td></tr></table>		f. Na	1165	craie	0	c.Mg	1998	c.Ba	0	Alum.	37	Molo.	0	Silice	348	40 <table><tr><td>f. Na</td><td>1183</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>2052</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>38</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>352</td></tr></table>		f. Na	1183	craie	0	c.Mg	2052	c.Ba	0	Alum.	38	Molo.	0	Silice	352																																																
		f. Na	1165																																																																												
craie	0																																																																														
c.Mg	1998																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	37																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	348																																																																														
f. Na	1183																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	2052																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	38																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	352																																																																														
40 <table><tr><td>f. Na</td><td>1201</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>2106</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>39</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>356</td></tr></table>		f. Na	1201	craie	0	c.Mg	2106	c.Ba	0	Alum.	39	Molo.	0	Silice	356	41 <table><tr><td>f. Na</td><td>1219</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>2160</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>40</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>360</td></tr></table>		f. Na	1219	craie	0	c.Mg	2160	c.Ba	0	Alum.	40	Molo.	0	Silice	360																																																
		f. Na	1201																																																																												
craie	0																																																																														
c.Mg	2106																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	39																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	356																																																																														
f. Na	1219																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	2160																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	40																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	360																																																																														
41 <table><tr><td>f. Na</td><td>1237</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>2214</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>41</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>364</td></tr></table>		f. Na	1237	craie	0	c.Mg	2214	c.Ba	0	Alum.	41	Molo.	0	Silice	364	42 <table><tr><td>f. Na</td><td>1255</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>2268</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>42</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>368</td></tr></table>		f. Na	1255	craie	0	c.Mg	2268	c.Ba	0	Alum.	42	Molo.	0	Silice	368																																																
		f. Na	1237																																																																												
craie	0																																																																														
c.Mg	2214																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	41																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	364																																																																														
f. Na	1255																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	2268																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	42																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	368																																																																														
42 <table><tr><td>f. Na</td><td>1273</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>2322</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>43</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>372</td></tr></table>		f. Na	1273	craie	0	c.Mg	2322	c.Ba	0	Alum.	43	Molo.	0	Silice	372	43 <table><tr><td>f. Na</td><td>1291</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>2376</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>44</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>376</td></tr></table>		f. Na	1291	craie	0	c.Mg	2376	c.Ba	0	Alum.	44	Molo.	0	Silice	376																																																
		f. Na	1273																																																																												
craie	0																																																																														
c.Mg	2322																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	43																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	372																																																																														
f. Na	1291																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	2376																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	44																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	376																																																																														
43 <table><tr><td>f. Na</td><td>1309</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>2430</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>45</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>380</td></tr></table>		f. Na	1309	craie	0	c.Mg	2430	c.Ba	0	Alum.	45	Molo.	0	Silice	380	44 <table><tr><td>f. Na</td><td>1327</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>2484</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>46</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>384</td></tr></table>		f. Na	1327	craie	0	c.Mg	2484	c.Ba	0	Alum.	46	Molo.	0	Silice	384																																																
		f. Na	1309																																																																												
craie	0																																																																														
c.Mg	2430																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	45																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	380																																																																														
f. Na	1327																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	2484																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	46																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	384																																																																														
44 <table><tr><td>f. Na</td><td>1345</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>2538</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>47</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>388</td></tr></table>		f. Na	1345	craie	0	c.Mg	2538	c.Ba	0	Alum.	47	Molo.	0	Silice	388	45 <table><tr><td>f. Na</td><td>1363</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>2592</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>48</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>392</td></tr></table>		f. Na	1363	craie	0	c.Mg	2592	c.Ba	0	Alum.	48	Molo.	0	Silice	392																																																
		f. Na	1345																																																																												
craie	0																																																																														
c.Mg	2538																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	47																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	388																																																																														
f. Na	1363																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	2592																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	48																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	392																																																																														
45 <table><tr><td>f. Na</td><td>1381</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>2646</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>49</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>396</td></tr></table>		f. Na	1381	craie	0	c.Mg	2646	c.Ba	0	Alum.	49	Molo.	0	Silice	396	46 <table><tr><td>f. Na</td><td>1399</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>2700</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>50</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>400</td></tr></table>		f. Na	1399	craie	0	c.Mg	2700	c.Ba	0	Alum.	50	Molo.	0	Silice	400																																																
		f. Na	1381																																																																												
craie	0																																																																														
c.Mg	2646																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	49																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	396																																																																														
f. Na	1399																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	2700																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	50																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	400																																																																														
46 <table><tr><td>f. Na</td><td>1417</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>2754</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>51</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>404</td></tr></table>		f. Na	1417	craie	0	c.Mg	2754	c.Ba	0	Alum.	51	Molo.	0	Silice	404	47 <table><tr><td>f. Na</td><td>1435</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>2808</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>52</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>408</td></tr></table>		f. Na	1435	craie	0	c.Mg	2808	c.Ba	0	Alum.	52	Molo.	0	Silice	408																																																
		f. Na	1417																																																																												
craie	0																																																																														
c.Mg	2754																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	51																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	404																																																																														
f. Na	1435																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	2808																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	52																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	408																																																																														
47 <table><tr><td>f. Na</td><td>1453</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>2862</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>53</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>412</td></tr></table>		f. Na	1453	craie	0	c.Mg	2862	c.Ba	0	Alum.	53	Molo.	0	Silice	412	48 <table><tr><td>f. Na</td><td>1471</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>2916</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>54</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>416</td></tr></table>		f. Na	1471	craie	0	c.Mg	2916	c.Ba	0	Alum.	54	Molo.	0	Silice	416																																																
		f. Na	1453																																																																												
craie	0																																																																														
c.Mg	2862																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	53																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	412																																																																														
f. Na	1471																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	2916																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	54																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	416																																																																														
48 <table><tr><td>f. Na</td><td>1489</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>2970</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>55</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>420</td></tr></table>		f. Na	1489	craie	0	c.Mg	2970	c.Ba	0	Alum.	55	Molo.	0	Silice	420	49 <table><tr><td>f. Na</td><td>1507</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>3024</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>56</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>424</td></tr></table>		f. Na	1507	craie	0	c.Mg	3024	c.Ba	0	Alum.	56	Molo.	0	Silice	424																																																
		f. Na	1489																																																																												
craie	0																																																																														
c.Mg	2970																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	55																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	420																																																																														
f. Na	1507																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	3024																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	56																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	424																																																																														
49 <table><tr><td>f. Na</td><td>1525</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>3078</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>57</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>428</td></tr></table>		f. Na	1525	craie	0	c.Mg	3078	c.Ba	0	Alum.	57	Molo.	0	Silice	428	50 <table><tr><td>f. Na</td><td>1543</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>3132</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>58</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>432</td></tr></table>		f. Na	1543	craie	0	c.Mg	3132	c.Ba	0	Alum.	58	Molo.	0	Silice	432																																																
		f. Na	1525																																																																												
craie	0																																																																														
c.Mg	3078																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	57																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	428																																																																														
f. Na	1543																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	3132																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	58																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	432																																																																														
50 <table><tr><td>f. Na</td><td>1561</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>3186</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>59</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>436</td></tr></table>		f. Na	1561	craie	0	c.Mg	3186	c.Ba	0	Alum.	59	Molo.	0	Silice	436	51 <table><tr><td>f. Na</td><td>1579</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>3240</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>60</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>440</td></tr></table>		f. Na	1579	craie	0	c.Mg	3240	c.Ba	0	Alum.	60	Molo.	0	Silice	440																																																
		f. Na	1561																																																																												
craie	0																																																																														
c.Mg	3186																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	59																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	436																																																																														
f. Na	1579																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	3240																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	60																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	440																																																																														
51 <table><tr><td>f. Na</td><td>1597</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>3294</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>61</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>444</td></tr></table>		f. Na	1597	craie	0	c.Mg	3294	c.Ba	0	Alum.	61	Molo.	0	Silice	444	52 <table><tr><td>f. Na</td><td>1615</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>3348</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>62</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>448</td></tr></table>		f. Na	1615	craie	0	c.Mg	3348	c.Ba	0	Alum.	62	Molo.	0	Silice	448																																																
		f. Na	1597																																																																												
craie	0																																																																														
c.Mg	3294																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	61																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	444																																																																														
f. Na	1615																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	3348																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	62																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	448																																																																														
52 <table><tr><td>f. Na</td><td>1633</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>3402</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>63</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>452</td></tr></table>		f. Na	1633	craie	0	c.Mg	3402	c.Ba	0	Alum.	63	Molo.	0	Silice	452	53 <table><tr><td>f. Na</td><td>1651</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>3456</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>64</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>456</td></tr></table>		f. Na	1651	craie	0	c.Mg	3456	c.Ba	0	Alum.	64	Molo.	0	Silice	456																																																
		f. Na	1633																																																																												
craie	0																																																																														
c.Mg	3402																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	63																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	452																																																																														
f. Na	1651																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	3456																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	64																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	456																																																																														
53 <table><tr><td>f. Na</td><td>1669</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>3510</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>65</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>460</td></tr></table>		f. Na	1669	craie	0	c.Mg	3510	c.Ba	0	Alum.	65	Molo.	0	Silice	460	54 <table><tr><td>f. Na</td><td>1687</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>3564</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>66</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>464</td></tr></table>		f. Na	1687	craie	0	c.Mg	3564	c.Ba	0	Alum.	66	Molo.	0	Silice	464																																																
		f. Na	1669																																																																												
craie	0																																																																														
c.Mg	3510																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	65																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	460																																																																														
f. Na	1687																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	3564																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	66																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	464																																																																														
54 <table><tr><td>f. Na</td><td>1705</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>3618</td></tr><tr><td>c.Ba</td><td>0</td></tr><tr><td>Alum.</td><td>67</td></tr><tr><td>Molo.</td><td>0</td></tr><tr><td>Silice</td><td>468</td></tr></table>		f. Na	1705	craie	0	c.Mg	3618	c.Ba	0	Alum.	67	Molo.	0	Silice	468	55 <table><tr><td>f. Na</td><td>1723</td></tr><tr><td>craie</td><td>0</td></tr><tr><td>c.Mg</td><td>3672</td></tr><tr><td>c.Ba</</td></tr></table>		f. Na	1723	craie	0	c.Mg	3672	c.Ba</																																																							
		f. Na	1705																																																																												
craie	0																																																																														
c.Mg	3618																																																																														
c.Ba	0																																																																														
Alum.	67																																																																														
Molo.	0																																																																														
Silice	468																																																																														
f. Na	1723																																																																														
craie	0																																																																														
c.Mg	3672																																																																														
c.Ba</																																																																															

Voir photographie N° 15 Page 55

Formules des préparations précédentes

				B=1/Ba					
				Na2O 0,238					
				CaO 0,000					
				MgO 0,000					
				BaO 0,762					
				Al2O3 0,296					
				SiO2 2,800					
				2				3	
				Na2O 0,238				Na2O 0,236	
				CaO 0,250				CaO 0,042	
				MgO 0,000				MgO 0,221	
				BaO 0,508				BaO 0,503	
				Al2O3 0,291				Al2O3 0,292	
				SiO2 2,736				SiO2 2,744	
				4				5	
				Na2O 0,234				Na2O 0,234	
				CaO 0,435				CaO 0,238	
				MgO 0,009				MgO 0,210	
				BaO 0,322				BaO 0,318	
				Al2O3 0,293				Al2O3 0,293	
				SiO2 2,753				SiO2 2,760	
				6				7	
				Na2O 0,235				Na2O 0,235	
				CaO 0,602				CaO 0,042	
				MgO 0,009				MgO 0,407	
				BaO 0,153				BaO 0,315	
				Al2O3 0,294				Al2O3 0,294	
				SiO2 2,764				SiO2 2,766	
				8				9	
				Na2O 0,236				Na2O 0,236	
				CaO 0,412				CaO 0,227	
				MgO 0,201				MgO 0,388	
				BaO 0,152				BaO 0,150	
				Al2O3 0,294				Al2O3 0,295	
				SiO2 2,771				SiO2 2,776	
				10				11	
				Na2O 0,237				Na2O 0,237	
				CaO 0,043				CaO 0,043	
				MgO 0,571				MgO 0,718	
				BaO 0,149				BaO 0,000	
				Al2O3 0,296				Al2O3 0,297	
				SiO2 2,793				SiO2 2,800	
A=11/Ca				12				13	
Na2O 0,237				Na2O 0,237				Na2O 0,238	
CaO 0,754				CaO 0,576				CaO 0,399	
MgO 0,009				MgO 0,186				MgO 0,364	
BaO 0,000				BaO 0,000				BaO 0,000	
Al2O3 0,295				Al2O3 0,296				Al2O3 0,296	
SiO2 2,779				SiO2 2,786				SiO2 2,794	
				14				15	
				Na2O 0,238				Na2O 0,238	
				CaO 0,221				CaO 0,043	
				MgO 0,541				MgO 0,718	
				BaO 0,000				BaO 0,000	
				Al2O3 0,297				Al2O3 0,297	
				SiO2 2,801				SiO2 2,800	
				C=15/Mg					

Conclusions :

- Le rouge au calcium pur, sans magnésium ni baryum est très pâle. Il est d'ailleurs d'autant plus pâle qu'il contient moins de colorants que RVNa.

- La substitution du calcium par du baryum intensifie le rouge, celui-ci "s'épaissit" lorsqu'il n'y a plus que du baryum.

- La substitution du calcium par du magnésium permet, pour de faibles valeurs du magnésium, de renforcer le rouge.

- La glaçure entièrement magnésienne ne fond pas.

- Le N° 14 a une teinte rose intéressante, si on parvient à éviter les retirements on aura un rose mat sympathique.

- L'association des trois alcalino-terreux en (8) par exemple donne un assez bon rouge.

Des roses de cuivre

C'est entre les numéros 13 et 15 que les roses de magnésium / cuivre / étain sont les plus intéressants, comme l'approche précédente n'est tout de même qu'un "dégrossi", l'idée vient de regarder les choses de plus près dans cette zone, c'est ce que j'ai fait à l'aide de mélanges en lignes entre les compositions numéro 13 et 15.

Compositions réalisées

1		2		3		4		5		6		7		8		9	
f. Na	553	f. Na	554	f. Na	555	f. Na	556	f. Na	558	f. Na	559	f. Na	560	f. Na	561	f. Na	562
Craie	125	Craie	109	Craie	94	Craie	78	Craie	63	Craie	47	Craie	31	Craie	16	Craie	0
C. Mg	108	C. Mg	121	C. Mg	135	C. Mg	148	C. Mg	162	C. Mg	175	C. Mg	188	C. Mg	202	C. Mg	215
Silice	208	Silice	209	Silice	210	Silice	211	Silice	212	Silice	213	Silice	214	Silice	215	Silice	216
B.b.	5	B.b.	5	B.b.	5	B.b.	5	B.b.	5	B.b.	5	B.b.	5	B.b.	5	B.b.	5
SnO2	10	SnO2	10	SnO2	10	SnO2	10	SnO2	10	SnO2	10	SnO2	10	SnO2	10	SnO2	10

Voir photographie N° 13 Page 54

Conclusion :

- Les roses de la première moitié de la série d'essais sont acceptables, mais leur tendance au retraitement est importante.

Remarque : les phénomènes de retraitement sont liés à la tension superficielle de la glaçure fondue, j'ai pu constater qu'ils sont moins importants lors d'une application au pistolet. On pourra consulter un article de Smart concernant ce sujet sur le site de Smart 2000. Le changement de matières premières permet également de résoudre le problème. J'ai remplacé le carbonate de magnésium par du talc, j'ai modifié légèrement la formule du rose retenu dans la série ci-dessus et j'ai obtenu le rose qui suit.

Ro Cu t								
ATMOSPHERE DE CUISSON : REDUCTRICE - TEMPERATURE 1300°C								
FORMULES								
		oxydes "glaçants"				Alumine	Silice	
Formule des oxydes		Na2O	CaO	MgO	BaO	Al2O3	SiO2	
% masse d'oxydes glaçure cuite		5,7	3,4	8,6	4,3	13,7	64,3	
formule moléculaire tripartite		0,234	0,153	0,542	0,071	0,340	2,710	
Pourcentage molaire	100,00	5,78	3,78	13,38	1,75	8,40	66,91	
Indicateur			Min.			Valeur	Max..	
Tension superficielle théorique			250,00			356,88	400,00	
COMPOSITION								
Nombres de moles								composition pour ~ 1Kg
Feldspath de sodium	1mole Na2O	0,234	0,042	0,009		0,281	1,774	576
Talc L O O	1 MgO		0,011	0,533		0,059	0,549	255
Carbonate de calcium	CaCO3		0,100				0,001	38
Carbonate de baryum	BaCO3				0,071			52
Silice	SiO2						0,386	87
Ox d'étain								15
Bouillie bordelaise								8

L'emploi du talc a nécessité d'augmenter l'alumine.

Pour renforcer un peu la couleur j'ai introduit du baryum et j'ai repris les colorants de RVNa, c'est à dire 1,5 % d'oxyde d'étain et 0,8 % de bouillie bordelaise.

C'est un rose satiné qui vire au rouge s'il est trop cuit. Passé au pistolet avec quelques précautions, il n'est pas sujet au retraitement.

La substitution d'alcalin par le calcium

Le rapport entre les alcalins et les éléments de la deuxième colonne de la classification périodique est en général déterminant pour un type d'émail donné, nous avons eu l'exemple des Shino qui ne supportent pas l'introduction d'une trop forte proportion de calcium. Les combinaisons des différentes substitutions possibles sont nombreuses, j'ai choisi d'observer plus particulièrement la substitution des alcalins par du calcium.

Je suis parti de RVNa dans lequel j'ai remplacé progressivement tout le sodium (il n'y a pas de potassium) par du calcium.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
f.Na 551	f.Na 482	f.Na 413	f.Na 344	f.Na 276	f.Na 207	f.Na 138	f.Na 69	f.Na 0
talc 41	talc 41	talc 42	talc 42	talc 42	talc 42	talc 43	talc 43	talc 43
Craie 219	Craie 230	Craie 241	Craie 251	Craie 262	Craie 273	Craie 284	Craie 294	Craie 305
molo. 0	molo. 30	molo. 61	molo. 91	molo. 121	molo. 151	molo. 182	molo. 212	molo. 242
Silice 189	Silice 217	Silice 244	Silice 272	Silice 300	Silice 327	Silice 355	Silice 382	Silice 410
SnO2 15	SnO2 15	SnO2 15	SnO2 15	SnO2 15	SnO2 15	SnO2 15	SnO2 15	SnO2 15
B.b 8	B.b 8	B.b 8	B.b 8	B.b 8	B.b 8	B.b 8	B.b 8	B.b 8

Voir photographie N° 14 Page 54

Conclusions :

- Avec le départ d'environ la moitié du sodium, remplacé par du calcium, la couleur rouge disparaît, en dessous de 0,15 moles d'alcalin, il n'y a plus de rouge possible.
 Cette conclusion ne doit pas être généralisée hâtivement, elle ne concerne que la substitution décrite dans la formule choisie.

- Ce non-développement du rouge en milieu presque exclusivement calcique explique l'absence de plages rouges sur des céladons calciques cuits dans des vapeurs de cuivre.

Il y aurait de nombreuses autres pistes d'investigation sur la composition des rouges de cuivre, j'en ai exploré quelques unes qui ne m'ont pas semblé fondamentales, c'est pourquoi, le nombre de pages étant limité, je ne les présenterai pas.



Quelques éléments théoriques

Origine de la couleur

Le cuivre est sans nul doute à l'origine de la coloration rouge, mais alors, comment expliquer qu'en mettant toujours du cuivre dans les glaçures on obtienne pas toujours du rouge ? En réalité, si on met du cobalt, on obtient invariablement du bleu (l'obtention de roses est possible mais peu fréquente). On doit alors se poser la question de l'état physique et chimique dans lequel le cuivre se trouve pour donner du rouge.

Les composés cupriques courants

Corps\Températures	Température de fusion	Température d'ébullition
Cuivre-métal	1083	2310
Oxyde cuivreux	1230	Décomposé en ses éléments à partir de 1230
Oxyde cuivrique	1148	Commence à se décomposer à partir de 900 pour donner de l'oxyde cuivreux
Sulfate de cuivre	Se décompose en oxyde avant de fondre	-

Le *métal cuivre cristallisé* est d'un rouge orangé métallique ce qui n'est pas la couleur des rouges de cuivre ; lorsque celui-ci est finement divisé, non oxydé, il constitue à la température ordinaire, une poudre noire. À partir de 1083°, c'est un liquide. Ce liquide est-il soluble dans le verre que constitue l'émail ? A-t-il tendance à réagir avec les autres composés de l'émail (étain, silice, alumine, calcium, sodium...) pour donner des composés colorés ?

L'*oxyde cuivreux*, (Cu_2O) seul, à la température ordinaire est rouge tendant sur le brun mais tout de même beaucoup plus proche de la couleur traditionnelle des rouges de cuivre que le métal, sans aller pourtant jusqu'à la couleur rubis. Son pouvoir colorant est assez important.

L'*oxyde cuivrique*, (CuO) est un solide noir à la température ordinaire. Il colore les glaçures en vert lors de cuissons oxydantes, son pouvoir colorant est beaucoup plus faible que celui des l'oxyde cuivreux.

Le *carbonate de cuivre*, (CuCO_3) est un solide vert qui se décompose en oxyde cuivrique avec l'élévation de température.

Le *sulfate de cuivre*, ($\text{CuSO}_4, 5 \text{ H}_2\text{O}$) est également un solide vert, lorsqu'il perd son eau de cristallisation, il devient blanchâtre.

Les transformations possibles

Oxydo-réduction

Les réactions d'oxydo-réduction : les oxydes de cuivre se réduisent et s'oxydent facilement, ceci s'observe dans la flamme d'un chalumeau lorsqu'on fait une soudure sur un tuyau de cuivre : à l'air

le cuivre chaud noircit en donnant de l'oxyde cuivrique. Si on chauffe les parties noircies avec une flamme, on voit apparaître des irisations qui traduisent des réactions chimiques entre les gaz de la flamme, le cuivre et ses oxydes.

Le nombre de réactions que l'on peut imaginer est très grand et le potier n'a aucun moyen de vérifier quelles seront les réactions qui auront réellement lieu. Voici quelques réactions possibles :

$\text{Cu} + 0,5 \text{O}_2$ donne CuO cette oxydation se fait à basse température.

2CuO en équilibre avec $\text{Cu}_2\text{O} + 0,5 \text{O}_2$ cet équilibre se déplace vers la droite à chaud.
 $\text{CuO} + \text{CO}$ donne $\text{Cu} + \text{CO}_2$ cette réaction a lieu dès 300°C .

$2 \text{Cu} + \text{SiO}_2 + \dots$ donne $\text{Cu}_2\text{Si} + \dots$ à haute température.

$\text{Cu}_2\text{O} + 2 \text{Fe}^{3+} + 2\text{H}^+_{\text{Aq}}$ donne $2 \text{Fe}^{2+} + 2\text{Cu}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$ cette réaction n'a lieu qu'en milieu aqueux, elle ne concerne donc pas les glaçures en fusion, mais seulement les suspensions d'émail.

Il peut également y avoir des réactions entre le cuivre dans ses différents états d'oxydation et d'autres corps chimiques introduits dans la glaçure en particulier l'étain et le fer dans leurs différents degrés d'oxydation :

$\text{SnO} + \text{Cu}_2\text{O}$ donne $2 \text{Cu} + \text{SnO}_2$
 $2 \text{FeO} + \text{Cu}_2\text{O}$ donne $\text{Cu} + \text{Fe}_2\text{O}_3$

Cristallisations

Dans la glaçure en fusion, ou partiellement en fusion, les composés du cuivre peuvent cristalliser seuls ou avec d'autres composés. Ainsi, au refroidissement, on peut avoir des cristallisations d'oxyde cuivrique, d'oxyde cuivreux, de cuivre métallique, de silicates de cuivre et bien entendu d'autres corps qui auraient pu se former au cours de la cuisson à partir du reste des éléments présents dans la glaçure. Ces différents cristaux vont avoir une importance pour la texture et la couleur de la glaçure. Dans cette perspective, le pilotage du refroidissement fera partie intégrante (comme toujours d'ailleurs) du travail d'obtention du rouge.

Séparation des verres de nature différente

Lorsqu'on introduit du bore dans une glaçure, celui-ci va pouvoir constituer autour de lui un verre, ce verre est fabriqué de manière courante dans l'industrie, ce verre peut ne pas être miscibles avec le verre constitué par le reste de la glaçure, on aura donc deux phases liquides ayant des propriétés optiques différentes. En outre ces liquides pourront ne pas dissoudre les mêmes oxydes et avoir de ce fait des propriétés oxydo-réductrices différentes.

L'apport de la microscopie et l'expérience des verriers

Pour savoir quels sont les colorants du rouge de cuivre, il existe une solution : l'observation par des moyens physiques non-destructifs de rouges existant. Ceci a été fait par sur des glaçures de couleur rubis (expérience relatée dans *Chinese Copper Red Wares* pages 53 à 61, publication des physiciens Ian C. Freestone et David J. Barber). La réponse est sans ambiguïté : le colorant du rouge est le métal cuivre cristallisé en petits grains de dimensions comprises entre 20 et 100 microns . À partir de là on comprend l'importance d'une bonne réduction mais aussi celle d'un protocole de refroidissement adapté.

Depuis longtemps les verriers fabriquent des rubis d'or, de cuivre et dans une moindre mesure de manganèse. Lorsque leur verre fondu contenant du cuivre et de l'étain est transparent, un traitement thermique approprié, permettant la naissance et le développement des cristaux de métal de dimensions adéquates est alors appliqué à ce verre qui devient rouge. On comprend pourquoi la couleur n'apparaît qu'au refroidissement à condition que ce refroidissement soit bien conduit.

Le développement des cristaux de cuivre métallique.

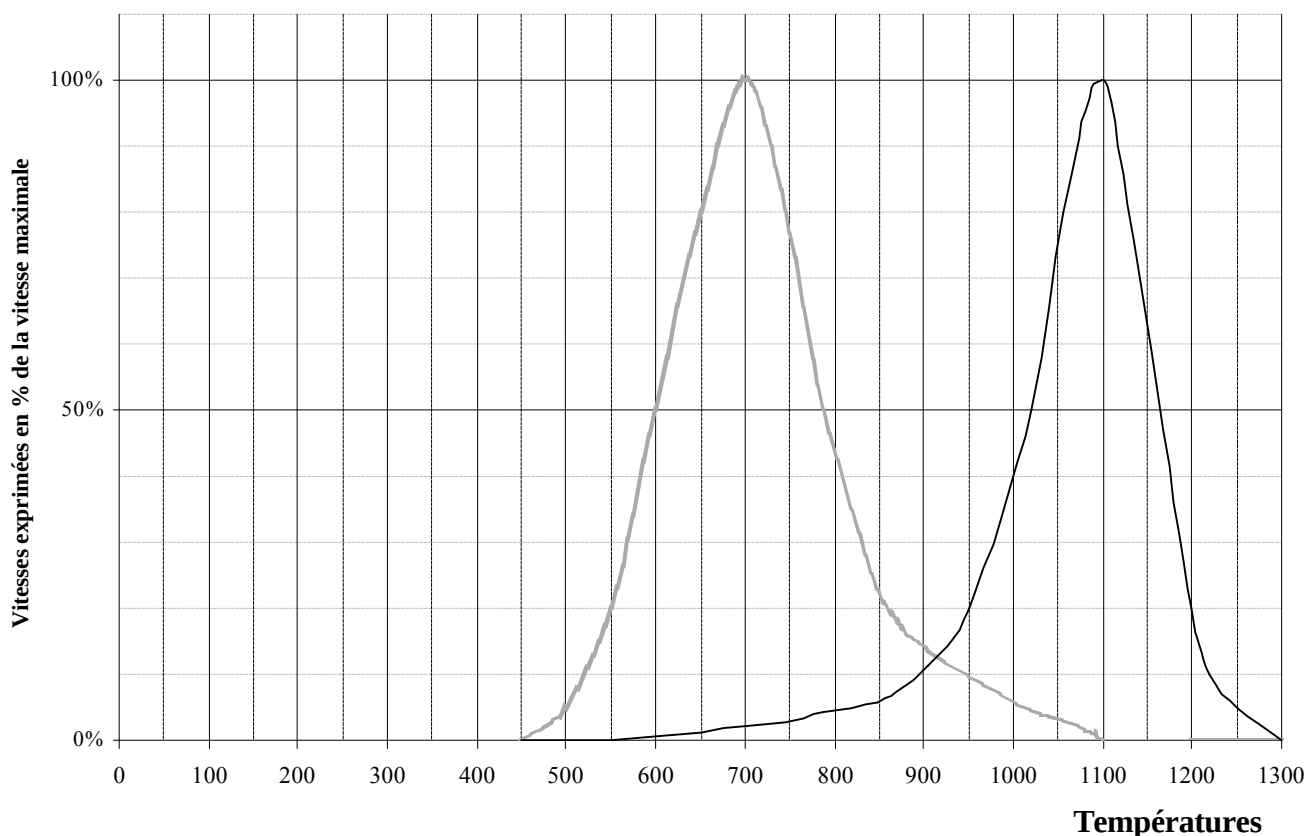
Moriyoshi, dans *Chinese Copper Red Wares*, tout comme Jouenne ou Tichane définissent une vitesse d'apparition de nouveaux cristaux et une vitesse de croissance de ces cristaux de cuivre métallique, ces vitesses passent par un maximum. Les deux maxima ne coïncident pas : le maximum de vitesse d'apparition de nouveaux cristaux est situé à température plus basse que le maximum de la vitesse de croissance des cristaux. Il paraît d'ailleurs normal que les cristaux se développent bien à haute température, lorsque la glaçure, peu visqueuse permet un nouvel arrangement des ions, il paraît également normal que les cristaux naissent en nombre lorsque la température baisse et que le changement d'état devient "obligatoire", en particulier lorsque la surfusion cesse.

Les auteurs cités ne donnent pas de vraies courbes de vitesses en fonction de la température, seul Moriyoshi donne les valeurs approximatives des températures correspondant aux maxima de vitesse : 700 et 1100/1150°C.

J'ai repris l'**allure** des courbes de ces auteurs. Ces graphiques n'ont aucune prétention à l'exactitude, ils n'ont pour but que de permettre de comprendre pourquoi la recuisson d'un verre ou d'un rouge permet d'obtenir une cristallisation responsable de la couleur rubis.

Vitesse de naissance des cristaux

— Vitesse de croissance des cristaux



Ces informations sur la naissance et le développement des cristaux de cuivre métallique permettent à Moriyoshi de proposer un protocole de cuisson des rouges de sacrifice :

Protocole de Moriyoshi

- Montée oxydante jusqu'à 900°C, puis montée réductrice jusqu'à la fusion complète (1230°C ?)
- Refroidissement rapide suivi d'un réchauffement jusqu'à un palier de 30' à 700°C : naissance des cristaux.

- Montée à 1100/1150°C suivie d'un palier réducteur de 30' à cette température pour permettre la croissance des cristaux. Il termine par un refroidissement assez rapide.

Je n'ai pas vraiment essayé ce séduisant protocole, je le regrette un peu. Cette méthode me semble lourde, un refroidissement lent (100° à l'heure) entre 900 et 600°C donne des résultats tout-à-fait satisfaisants.

Les rouges des céramistes

Les céramistes n'obtiennent pas que du rouge rubis, on peut penser que de nombreux rouges contiennent non seulement du cuivre métallique mais aussi de l'oxyde cuivreux qui fait naître une nuance qui va du jaune-orangé au brun. Souvent, dans les passages de flamme, la glaçure sera complètement décolorée par évaporation de l'élément cuivre. À ce sujet, on remarque souvent un rouge plus soutenu à l'intérieur des pièces, dû à une évaporation moindre, la cuisson en gazettes est très pratiquée en Chine pour confiner les vapeurs de cuivre autour des pièces. Les nuances apportées par ces "défauts" de cuisson donnent à ces glaçures une "vie" qu'on ne rencontre pas dans les céladons par exemple.

Les recuissons

Les recuissons des glaçures rouges insuffisamment cuites donnent souvent de très bons résultats. J'ai remarqué également qu'une recuisson à 1000°C permet de faire réapparaître du rouge disparu, on pense alors que les interprétations théoriques sur l'origine du rouge peuvent être exactes.

Voir photographies N° 18 - 19 Page 56



Un rouge sans formules

Les Chinois ne travaillaient pas avec les formule moléculaire, mais bien plus certainement avec leurs intuitions, et leur sens aigu de l'observation, leur mémoire et une importante transmission de savoirs. D'une manière très prosaïque, ils travaillaient aussi avec les matières premières locales : cendres, pierres feldspathiques, pierres à porcelaine, terres à briques, minerais colorés, smalt d'importation perse et vraisemblablement avec les métaux déjà en usage à cette époque, je pense au fer, mais surtout au bronze, connu depuis plus longtemps, et qui contient l'étain, oxyde si important dans la réalisation d'un rouge de cuivre.

On peut donc essayer une combinaisons de quelques uns de ces matériaux pour concevoir une glaçure rouge. Avec nos connaissance ce sera facile, même si "ce n'est pas du jeu". Pour n'avoir ni trop de silice, ni trop d'alumine, il faudra éviter terres et kaolins, en revanche, les feldspaths seront possibles, la craie ou des cendres de bois fourniront les alcalino-terreux et une partie des alcalins dans le cas de cendres. Des minerais de cuivre, des oxydes de ce métal ou de sa combinaison avec l'étain nous procureront les colorants.

J'ai essayé un mélange en ligne de cendres de bois et de feldspath de sodium additionnés de 1,5% d'oxyde d'étain et de 0,8% de bouillie bordelaise (sa dénomination semble montrer qu'elle n'est pas d'origine chinoise). Les essais ont été faits en 2 temps. Dans un premier temps : à gauche, de la cendre pure, à droite du feldspath pur, ensuite un "zoom" été fait sur la partie la plus intéressante de ce qui avait été obtenu précédemment.

Première série d'essais

1		2		3		4		5		6		7		8		9	
f. Na	0	f. Na	125	f. Na	250	f. Na	375	f. Na	500	f. Na	625	f. Na	750	f. Na	875	f. Na	1000
cendres	1000	cendres	875	cendres	750	cendres	625	cendres	500	cendres	375	cendres	250	cendres	125	cendres	0
B.b.	8	B.b.	8	B.b.	8	B.b.	8	B.b.	8	B.b.	8	B.b.	8	B.b.	8	B.b.	8
SnO2	15	SnO2	15	SnO2	15	SnO2	15	SnO2	15	SnO2	15	SnO2	15	SnO2	15	SnO2	15

Voir photographie N° 16 Page 56

Deuxième série d'essais

1		2		3		4		5		6		7		8		9	
f. Na	500	f. Na	538	f. Na	575	f. Na	613	f. Na	650	f. Na	688	f. Na	725	f. Na	763	f. Na	800
cendres	500	cendres	463	cendres	425	cendres	388	cendres	350	cendres	313	cendres	275	cendres	238	cendres	200
B.b.	8	B.b.	8	B.b.	8	B.b.	8	B.b.	8	B.b.	8	B.b.	8	B.b.	8	B.b.	8
SnO2	15	SnO2	15	SnO2	15	SnO2	15	SnO2	15	SnO2	15	SnO2	15	SnO2	15	SnO2	15

Voir photographie N° 17 Page 56

On obtient des rouges d'excellente qualité, la présence d'éléments solubles (potasse) dans la composition n'est sans doute pas étrangère au succès de cette démarche. Pour une phase de production, les compositions riches en feldspath sont plus confortable en raison de leur plus grande viscosité, mais leur couleur est en général plus lourde, moins transparente, moins lumineuse.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Rouges de cuivre

Photo 1 : Suivi d'une cuisson à l'aide de paniers de porcelaine	49 & 13
Photo 2 : Les différentes formes du cuivre dans un rouge	49 & 27
Photo 3 : Augmentation progressive du cuivre et de l'étain	50 & 26
Photo 4 : Développement du rouge par le fer ou par l'étain ?	50 & 29
Photo 5 : Addition d'oxyde de fer dans un rouge	51 & 30
Photo 6 : Addition d'oxyde de titane dans un rouge	51 & 31
Photo 7 : Introduction du bore par l'intermédiaire de la fritte FR7	51 & 36
Photo 8 : Introduction du bore à l'aide de borocalcite	51 & 37
Photo 9 : Variation de la silice et de l'alumine dans un rouge sans fritte	52 & 32
Photo 10 : Variation de la silice et de l'alumine dans un rouge à FR4	53 & 34
Photo 11 : Substitution du sodium par du potassium	54 & 38
Photo 12 : Substitution du sodium par du lithium	54 & 38
Photo 13 : Recherche d'un rose de cuivre	54 & 41
Photo 14 : Substitution des alcalins par le calcium	54 & 42
Photo 15 : Approche du rôle des alcalino-terreux	55 & 39
Photo 16 : Première approche du rouge de cendres et de feldspath	56 & 47
Photo 17 : Deuxième approche du rouge de cendres et de feldspath	56 & 47
Photos 18 - 19 - 20 : Rouge de réchauffage et effet grain de cuivre	56 & 14, 28, 46

Bleus de cuivre

Photo 21 : Bleu vert d'après G. Daly BC1	57 & 66
Photo 22 : Bleu de Lithium N° 1	57 & 72
Photo 23 : Bleu de Lithium N° 2 (spodumène synthétique)	57 & 73
Photo 24 : Substitution Baryum / calcium et augmentation du cuivre Oxydation	58 & 68
Photo 25 : Substitution baryum / calcium et augmentation du cuivre Réduction	59 & 68
Photo 26 : Variation silice / alumine dans un bleu	60 & 70
Photo 27 : Variation lithium / baryum	61 & 74

Autres couleurs du cuivre

Photo 28 : Addition de 8 % de bouillie bordelaise à de la néphéline	62 & 82
Photo 29 : Addition de 8 % de bouillie bordelaise à du feldspath potassique	62 & 83
Photo 30 : Addition de 8 % de bouillie bordelaise à de la pétalite	62 & 83
Photo 31 : Addition de 8 % de bouillie bordelaise à du feldspath de lithium	63 & 84
Photo 32 : Addition de 8 % de bouillie bordelaise à un émail mat calcique	63 & 85
Photo 33 : Addition de 4 % de bouillie bordelaise à l'eutectique calcium	63 & 84
Photo 34 : Addition de 8 % de bouillie bordelaise à l'eutectique baryum	63 & 85
Photo 35 : Addition de 8 % de bouillie bordelaise à un émail talc / feldspath	64 & 86
Photo 36 : Addition de 8 % de bouillie bordelaise à Mg1 (magnésium / calcium)	64 & 86
Photo 37 : Addition de 8 % de bouillie bordelaise à Mg2 (magnésium / alcalins)	64 & 87
Photo 38 : Addition de 8 % de bouillie à Mg3 (magnésium / alcalins / Calcium)	64 & 87

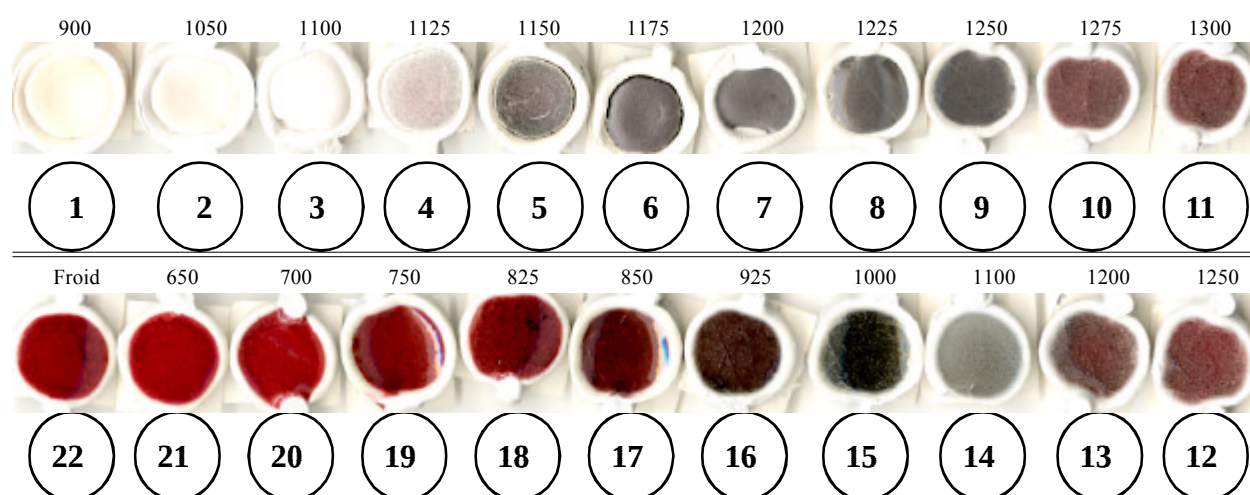
ILLUSTRATIONS

Pour des raisons liées au coût, il n'a pas été possible de faire figurer les illustrations en face du texte auquel elles se rapportent. Je les ai rassemblées dans ce cahier de 16 pages en respectant, dans la mesure du possible, l'ordre d'apparition dans le livre. Cependant lorsqu'il faudra comparer deux images, elles seront placées sur la même page ou sur des pages en regard, ce qui pourra provoquer des décalages. Les principales conclusions seront rappelées.

La photographie de céramiques est difficile. Dans ce cahier, j'ai choisi de scanner directement les plaques d'essais. Par ce moyen, j'obtiens un ensemble de clichés qui peuvent être comparés entre eux du fait de conditions d'éclairage et de traitement similaires. Cependant, le résultat obtenu à l'extrémité de la chaîne est souvent en décalage avec la réalité. Voir les planches et les pièces serait l'idéal.

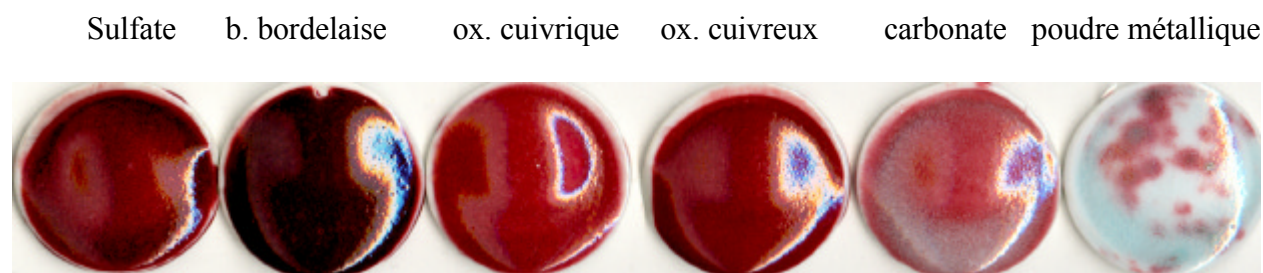
Les rouges de cuivre

Photo 1 : Suivi d'une cuisson à l'aide de paniers de porcelaine



Vers le maximum de température, la couleur est gris-rouge transparente. Parfois à ce niveau la glaçure est incolore, dans ce cas, au terme du refroidissement, il reste peu de rouge, mais il est alors proche du rubis. La couleur apparaît au refroidissement, aux environs de 850°C. En dessous de 600°, il n'y a plus de changement notable.

Photo 2 : Les différentes formes du cuivre dans un rouge



Texte pages 27 et 28

À masse d'élément cuivre égale, c'est la bouillie bordelaise qui s'avère la plus colorante, viennent ensuite le sulfate, l'oxyde cuivreux, l'oxyde cuivrique et le métal. Plus le grain est fin, plus la coloration est intense.

Photo 3 : Augmentation progressive du cuivre et de l'étain en cuisson réductrice



Texte page 26

Avec 0,8 % de bouillie bordelaise, on obtient un maximum d'intensité de la couleur. Sans oxyde d'étain, le rouge est moins pur mais il existe. 1,5 % d'oxyde d'étain semblent suffisants, au-delà, la couleur ne s'améliore pas.

Photos 4 : Développement du rouge par le fer ou par l'étain ?

Avec de l'oxyde de fer (en l'absence d'oxyde d'étain)



Avec de l'oxyde d'étain (en l'absence d'oxyde de fer)



Texte page 29

Un peu d'oxyde de fer empêche la cristallisation et améliore le rouge (moins de 1%) une couleur verte apparaît si on en ajoute . L'oxyde d'étain a un rôle beaucoup plus intéressant : il empêche certaines cristallisations, et il rend le rouge plus pur et plus lumineux.

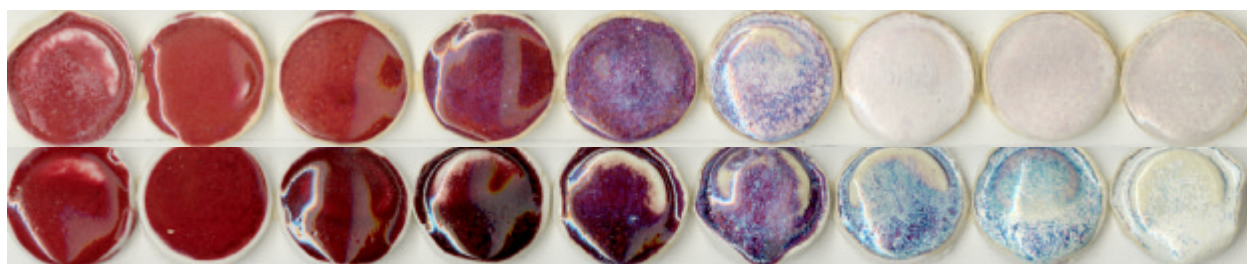
Photo 5 : Addition d'oxyde de fer dans un rouge



Texte page 30

Si on ajoute de l'oxyde de fer à un rouge complet, on détruit la glaçure lorsqu'on excède 1,5 %

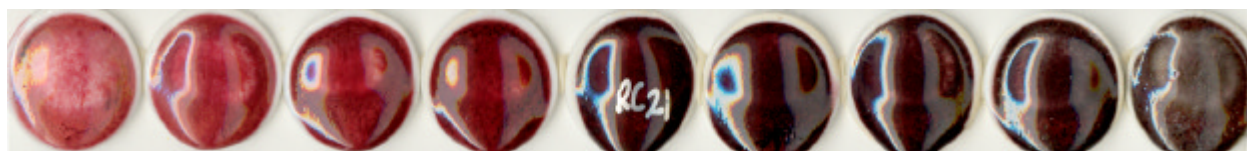
Photo 6 : Addition d'oxyde de titane dans un rouge



Texte page 31

La deuxième cuisson a été de 15° supérieure à la première, l'apparition de la nuance bleue s'est déplacée vers la droite. Avec 8 % d'oxyde d'étain ajouté, on obtient un blanc. L'addition de titane permet de jouer avec les nuances du rouge.

Photo 7 : Introduction du bore par l'intermédiaire de la fritte FR7



Texte page 36

L'introduction de bore renforce considérablement la couleur, celle-ci a tendance à moins disparaître à haute température, cependant, avec la fritte FR7, on obtient une note brun violacé que je n'apprécie pas.

Photo 8 : Introduction du bore à l'aide de borocalcite



Texte page 36

Dans certaines cuissons, l'action de la borocalcite passe totalement inaperçue, si on chauffe un peu plus, l'effet se rapproche de celui de la fritte FR7, sans le désagrément d'un glissement de la teinte.

Photo 9 : Variation de la silice et de l'alumine dans un rouge sans fritte



Texte page 32

RVNa, le rouge qui sert à la plupart des essais de trouve approximativement en 16

La diminution de la coloration en haut à gauche ne me semble pas devoir être interprétée comme une évolution due à la composition, elle est plutôt imputable à la température et à l'épaisseur de la glaçure, d'autres essais n'ont pas montré cette variation.

C'est en 20, c'est à dire avec 0,296 moles d'alumine et 2,5 moles de silice qu'on obtient le meilleur rouge.

Le rouge est possible avec de nombreuses valeurs du couple, mais c'est avec les valeurs les plus basses qu'on obtient le meilleur résultat.

Avec des feldspaths, il n'est pas possible de descendre ces valeurs en dessous de celles utilisées si on veut conserver le taux d'alcalins.

Photo 10 : Variation de la silice et de l'alumine dans un rouge contenant une fritte



Texte page 34

La formule de RVNa, le rouge qui sert à la plupart des essais de trouve approximativement en 9. On voit de suite qu'on n'a pas le même résultat qu'au 16 de la page précédente. La formule d'un émail n'est pas une indication suffisante, les matières premières sont essentielles. Ici, on peut penser que la fritte alcaline provoque une fusion plus précoce qui piège mieux le cuivre. On pourrait diminuer les quantités de colorants dans cette préparation et obtenir une couleur plus limpide.

De nombreuses compositions sont utilisables, cependant, avec les valeurs les plus basses de la silice et de l'alumine, si on ne refroidit pas très vite, on a cristallisation de la couverte qui présente alors de petites taches blanc-violacé.

Ces deux séries d'essais montrent que les valeurs de la silice et de l'alumine sont, dans le cas du rouge de cuivre, moins importantes que dans le cas des bleus de fer par exemple. Cependant, c'est vers les valeurs 0,3 / 2,5 que la stabilité de la couleur me semble la moins difficile à obtenir.

Photo 1 : Substitution du sodium par du potassium



Texte page 38

Nous restons à formule égale, on peut remarquer une évolution de la matière, celle-ci devient plus mate tandis que la couleur s'éclaircit. Si on chauffe un peu plus, l'aspect mat persiste et la couleur évolue légèrement vers le bleu.

Photo 12 : Substitution du sodium par du lithium



Texte page 38

Le lithium rend la couverte plus fusible, la couleur s'intensifie donc un peu, cependant, ce n'est, à mon avis, pas un élément essentiel à l'obtention des rouges.

Je ne pense pas qu'il soit bon de faire une déduction de la couleur du dernier essai qu'il faut plutôt attribuer à des aléas de cuisson.

Photo 13 : Recherche d'un rose de cuivre



Texte page 41

Cette ligne correspond à une partie de la base du triangle ci-contre. La glaçure est fortement magnésienne. Avec trop de magnésium, la couleur disparaît, la matière ne fond plus. Les retraits de séchage persistent après cuisson, sauf si on émaille au pistolet. Si on remplace le carbonate de magnésium par du talc OO de Luzenac, les craquelures disparaissent et il ne se produit aucun bouillonnement.

Photo 14 : Substitution des alcalins par le calcium



Texte page 42

On part à gauche de RVNa, on substitue le sodium par du calcium, toutes choses égales par ailleurs. La couleur rouge disparaît vite. En dessous de 0,15 moles d'alcalins, il n'y a plus de rouge.

Les céladons purement calciques ne captent jamais de vapeurs de cuivre, s'ils ont la même température de cuisson, ils peuvent se côtoyer sans problème.

Photo 15 : *Approche du rôle des alcalino-terreux*



Texte page 39, 40

On part en bas à gauche, d'une composition qui ne contient ni baryum ni magnésium.

L'ajout d'une faible quantité d'un de ces deux éléments améliore très sensiblement le rouge. Le baryum est plus efficace dans ce rôle que le magnésium.

On a par combinaison des alcalino-terreux de belles possibilités d'apporter des nuances à la glaçure.

Avec le magnésium, des roses mats très intéressants, proches par l'aspect de certains "peau de pêche" des chinois. La partie basse du triangle a été partiellement "agrandie" sur la page en regard (photo 13).

Photo 16 : Première approche du rouge de cendres et de feldspath



Texte page 47

On part à gauche de cendre de bois et à droite de feldspath sodique. La cendre ne fond pas, le feldspath ne développe pas le rouge, entre les deux, de nombreuses compositions permettent l'obtention de bons rouges un peu sombres.

Photo 17 : Deuxième approche du rouge de cendres et de feldspath

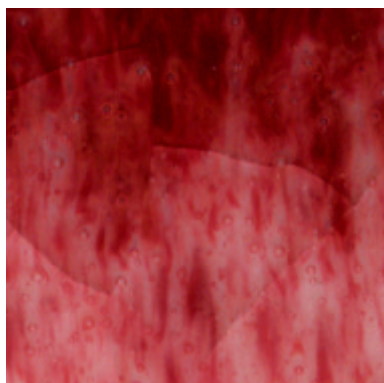


Texte page 47

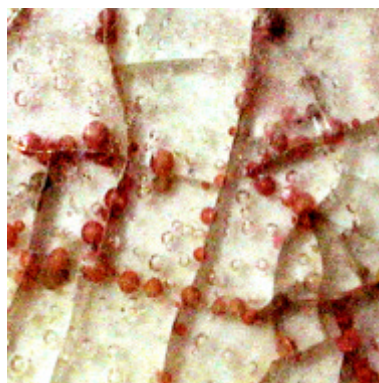
Cet essai reprend approximativement la ligne 5 / 8 qui se trouve ci-dessus. Si on veut une bonne stabilité de la couleur, il faut mettre suffisamment de feldspath.

On peut constater que la maîtrise du calcul moléculaire n'est absolument pas indispensable à l'obtention de bonnes glaçures ; en revanche, une méthode d'expérimentation permet de trouver beaucoup plus rapidement qu'un tâtonnement autour de recettes d'origines diverses.

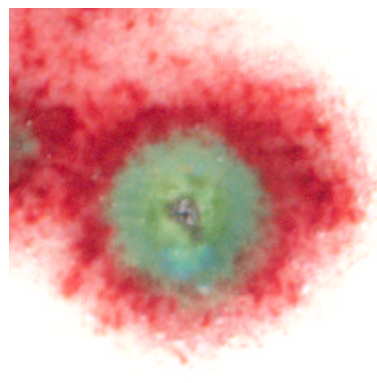
Photos 18 - 19 - 20 : Rouge de réchauffage et effet grain de cuivre



Texte pages 14, 46



Texte pages 14, 46



Texte page 28

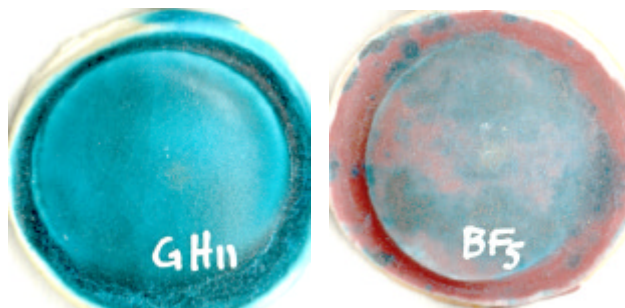
La première image montre les "filaments" rouges apparus lors d'un chauffage à 1000°C (cuisson de biscuit oxydante) d'un rouge qui avait complètement disparu au cours de la première cuisson.

La deuxième photo montre la coloration de la surface interne des bulles situées sur les craquelures d'une pièce totalement décolorée (cuisson au feu de bois aux environs de 750 à 800°C atmosphère non déterminée)

Lorsqu'un grain de métal cuivre est posé sur une glaçure rouge nous obtenons un "effet grain de cuivre" : tache noire centrale entourée d'un halo vert puis d'un rouge de belle qualité en général. Ici la glaçure trop chauffée s'est décolorée, sauf autour du grain qui a fourni le cuivre nécessaire à la recoloration.

Les bleus de cuivre

Photo 21 : Bleu vert d'après G. Daly BC1



Texte page : 66

À gauche en réduction, à droite en réduction.

On obtient une nuance bleue qui laisse bien augurer de la possibilité d'obtenir des bleus de cuivre / baryum en oxydation au moins.

Photo 22 : Bleu de Lithium N° 1



Texte page : 72

À gauche en réduction, à droite en réduction.

On obtient un bleu clair transparent en oxydation. Cet émail est très fluide, le problème serait éventuellement d'augmenter sa viscosité, sans détruire la couleur.

Photo 23 : Bleu de Lithium N° 2 (spodumène synthétique)



Texte page : 73

À gauche en réduction, à droite en réduction.

L'aspect de la matière est très mauvais, cependant, le bleu est au rendez-vous, aussi bien en oxydation qu'en réduction. Les bleus de lithium doivent être possibles.

**Photo 24 : Substitution Baryum/calcium et augmentation du cuivre
Oxydation**



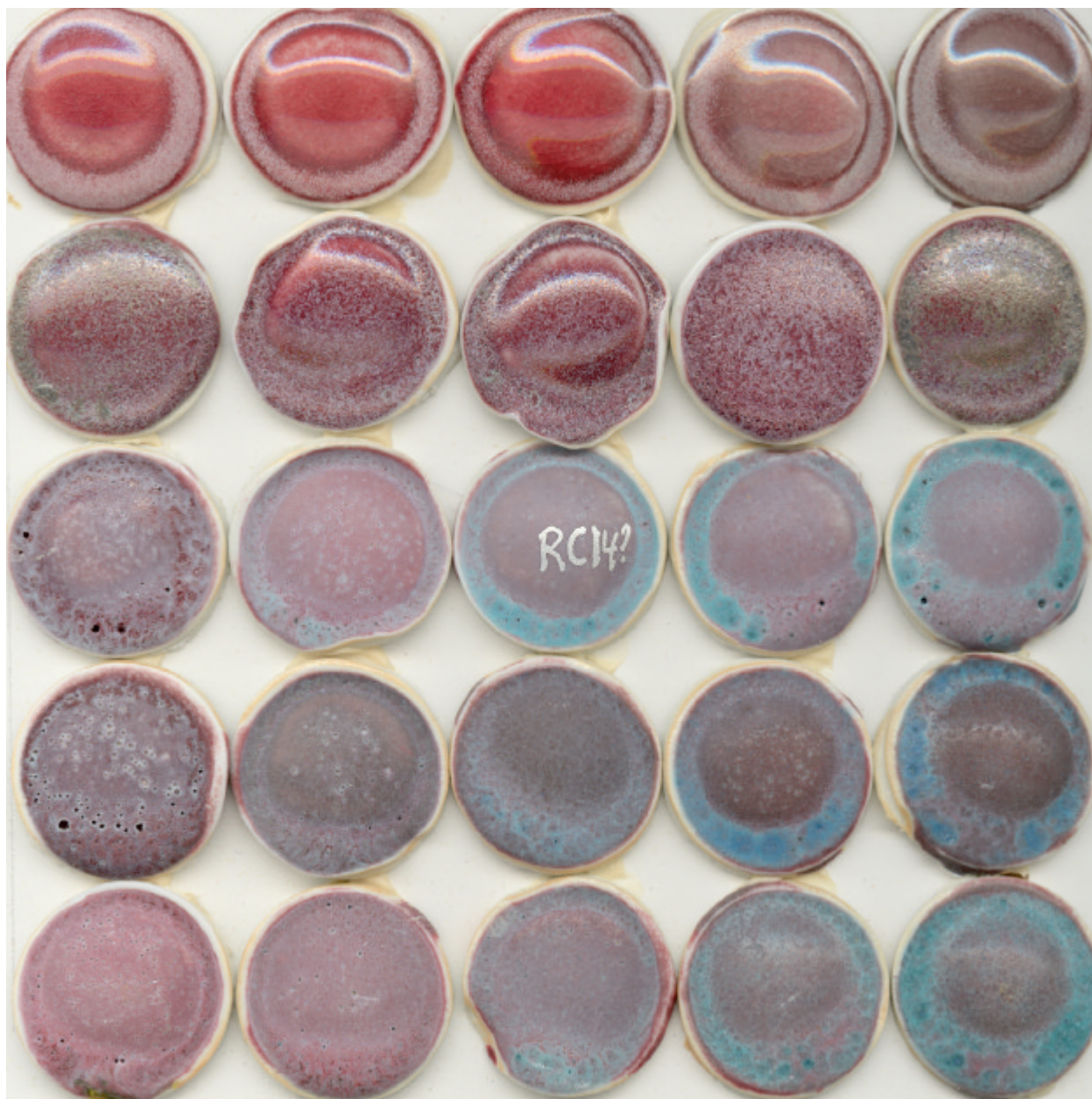
Texte page : 68,69

Le cuivre progresse vers la droite.

De bas en haut, on passe d'une glaçure au baryum à une glaçure au calcium par substitution calcium / baryum.

Il est net que le baryum développe le bleu et que le calcium favorise le vert. Dans les glaçures fortement calciques, le cuivre, lorsqu'il est trop concentré, provoque des taches noires en surface très dépendantes de la cuisson et du refroidissement : les noirs de cuivre obtenus de cette manière sont assez difficiles à maîtriser, cependant, ils existent.

Photo 25 : Substitution baryum/calcium et augmentation du cuivre
Réduction



Texte page : 68,69

Avec le calcium, c'est le rouge de cuivre qui est obtenu, en particulier lorsque la bouillie bordelaise n'est pas trop concentrée.

Le baryum seul donne plutôt des vieux roses qui virent au gris par apparition de vert sombre. De très beaux bleus apparaissent en 19 et 20, c'est à dire avec beaucoup de cuivre et un savant dosage de baryum, de calcium et d'alcalins (uniformes dans tous les essais)

Le N° 19 semble le plus intéressant aussi bien en oxydation qu'en réduction, il sera pris comme point de départ pour d'autres essais.

Photo 26 : **Variation silice / alumine dans un bleu**
silice verticale, alumine horizontale



Cuisson réductrice

Texte page : 70, 71

Pour les valeurs les plus fortes de la silice, nous obtenons plutôt du rouge brillant. Lorsque la silice est au plus bas, du bleu apparaît même en réduction. Des ajouts d'alumine renforcent le bleu, on peut donc conclure à un meilleur développement du bleu pour les rapports silice sur alumine les plus faibles.



Cuisson oxydante

Texte page : 70, 71

Le vert remplace le bleu lorsque la silice et l'alumine sont au plus haut.. On peut avoir des bleus brillants sur la partie gauche du diagramme. C'est en bas et plus particulièrement à droite (forte valeur de l'alumine, faible valeur de la silice), que se développent les bleus mats

Photo 27 : Variation lithium baryum

Lithium vertical, baryum horizontal.



Cuisson réductrice

Texte page : 74, 75

En réduction, le rouge domine, cependant, à droite, là où le baryum est à son maximum, on voit poindre le bleu.

La palette obtenue est riche, cependant, certaines couleurs sont difficiles à reproduire.



Cuisson oxydante

Texte page : 74, 75

Le lithium seul ne développe pas de bleu si les alcalino-terreux sont composés exclusivement par le calcium.

Avec beaucoup de calcium, on voit de nouveau apparaître les noirs de cuivre.

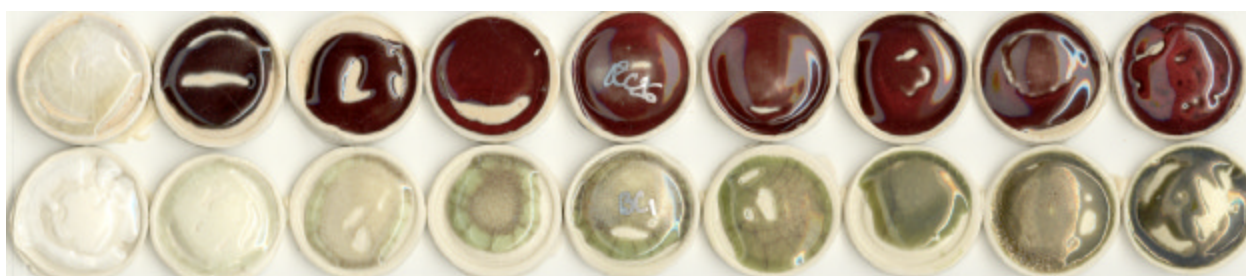
La combinaison baryum / lithium fait passer le bleu par un maximum entre les essais 15 et 20.

Autres couleurs du cuivre

J'ai introduit progressivement de 0 à 8 % de bouillie bordelaise dans diverses compositions de base pour voir quelles tendances on peut observer lorsqu'on passe de composition alcalines à des compositions contenant davantage de calcium puis de baryum et enfin de magnésium. Les valeurs de la silice et de l'alumine ne sont pas constantes, ce qui limite considérablement la portée des essais, il ne s'agit donc que d'une première approche extrêmement sommaire.

La première série correspond à la réduction, la seconde à l'oxydation.

Photo 28 : Addition de 8 % de bouillie bordelaise à de la néphéline



Texte page : 82

En réduction, on sent " l'arrivée" du rouge, en oxydation, le vert me semble peu intéressant.

Photo 29 : Addition de 8 % de bouillie bordelaise à du feldspath potassique



Texte page : 83

Les rouges commencent à être intéressants, en revanche, on n'a pas réellement de vert en oxydation

Photo 30 : Addition de 8 % de bouillie bordelaise à de la pétalite



Texte page : 83

Les couleurs se développent mal, le coefficient de dilatation du lithium provoque l'écaillage.

Photo 31 : Addition de 8 % de bouillie bordelaise à du feldspath de lithium



Texte page : 84

À première vue, le lithium ne semble favorable ni aux verts ni aux rouges ni aux bleus...

Photo 33 : Addition de 4 % de bouillie bordelaise à l'eutectique calcium



Texte page : 84

Pas de rouge en réduction, le vert est meilleur en oxydation.

Photo 32 : Addition de 8 % de bouillie bordelaise à un émail mat calcique



Texte page : 85

On obtient plutôt du noir en réduction et un vert bien développé en oxydation

Photo 34: Addition de 8 % de bouillie bordelaise à l'eutectique baryum



Texte page : 85

Le baryum peut donner seul un rouge acceptable, le vert d'oxydation tend sur le bleu.

Photo 35 : Addition de 8 % de bouillie bordelaise à un émail talc / feldspath



Texte page : 86

Le vert et le rouge ne semblent pas impossibles à partir de cette composition (à travailler).

Photo 36 : Addition de 8 % de bouillie bordelaise à Mg1 (magnésium / calcium)



Texte page : 86

Du jaune en oxydation, un gris-rose en réduction.

Photo 37 : Addition de 8 % de bouillie bordelaise à Mg2 (magnésium / alcalins)



Texte page : 87

Le vert et le gris de cette composition ne semblent promis à un grand avenir.

Photo 38: Addition de 8 % de bouillie à Mg3 (magnésium / alcalins / Calcium)



Texte page : 87

D'une manière générale, le magnésium ne semble pas favorable aux verts éclatants.

CHAPITRE 15

LES BLEUS DE CUIVRE

Lorsqu'on a connu la fascination des Qingbai, Jun et Shufu, il est difficile d'entrer dans un autre univers céramique, même si celui-ci est un monde bleu. Il me paraît, par exemple, très peu aisé de travailler les bleus de cobalt et de cuivre, tant ceux-ci semblent, à première vue, denses, durs, opaques, si on les compare aux meilleures glaçures Song de haute température. Pourtant, il doit bien être possible de porter un autre regard sur ces émaux, ou mieux peut-être, de transformer ceux-ci pour les rendre aussi puissants que ceux de la constellation des bleus de fer.

Les égyptiens ont ouvert cette très belle voie, l'hippopotame du Moyen Empire déposé au Louvre, tout comme certaines petites statuettes funéraires ont la couleur de la plume du martin-pêcheur. Les Seldjoukides d'Anatolie, aux douzième et treizième siècle, ont émaillé de petits carreaux qui évoquent, par leur transparence et leur profondeur, les eaux côtières de la Grande Grèce. J'oublie les Mongols qui produisirent en Iran, un peu plus tard, tout une céramique à décor noir sur fond turquoise qui surprend par sa rigueur et sa sensualité mêlées. Aujourd'hui, l'esprit des meilleurs bleus de cuivre me semble un peu oublié par la plupart d'entre nous.

Pourtant, le renouveau est en marche, J'ai vu des bleus puissants faisant corps avec la matière des bouteilles et des vases d'Alain Gaudebert, j'ai vu également des bleus lumineux et changeants habiller des pièces vigoureuses de Nanouk-Anne Pham et Jean Girel m'a montré des essais transparents, satinés et profonds qui donnent envie d'aller plus loin dans cette quête des matières qui savent jouer avec la lumière.

Le petit chapitre qui suit a une ambition très limitée : partager les quelques connaissances que j'ai pu me construire sur le sujet, dans le but de faire gagner un peu de temps à un lecteur qui aimerait aller plus loin dans ce domaine plein de promesses et si peu exploré. La principale difficulté identifiée réside dans le changement de température : les bleus d'EGYPTE, d'Iran, de Turquie étaient des bleus de basse température, lorsque nous passerons à 1300°C nous devons changer en même temps de matières premières et ceci rend le problème plus complexe à résoudre. Heureusement, quelques informations tirées de revues, de livres, d'Internet ou de la bienveillance de certains céramistes nous permettra, sinon de traiter le sujet, au moins de le déflorer.

Les premières informations

Un bleu-vert de Greg Daly

Greg Daly dans son livre *Glazes and glazing techniques* fait une approche systématique des couleurs produites en oxydation et en réduction avec quatre glaçures de base. Sa glaçure S6, composée de 75 % de néphéline et de 25 % de carbonate de baryum additionnés de 4 % de carbonate de cuivre doit donner un vert bleuté, très différent des verts obtenus dans des glaçures à base de calcium en oxydation. Cette couleur serait possible aussi bien en oxydation qu'en réduction, avec des nuances cependant. J'ai réalisé des essais et j'ai traduit la recette en formule pour tenter de commencer à comprendre.

BC1								
Formule de Seger								
		oxydes basiques				Alumine	Silice	
Formule des oxydes		Na2O	K2O	CaO	BaO	Al2O3	SiO2	
(formule moléculaire unité)		0,304	0,230	0,052	0,414	0,574	2,262	
Néphéline	1mole KNaO	0,305	0,230	0,052	0,005	0,574	2,257	750
Carbonate de baryum	BaCO3				0,409			250

Voir photographie N° 21 Page 57

Mes résultats sont conformes à ceux de Greg Daly : dans ce vert-bleu, on "sent venir" du bleu. La formule nous permet de faire plusieurs hypothèses sur l'origine du bleu, il faudra naturellement les vérifier.

Première remarque : le baryum est sans doute responsable du bleu de cuivre, mais en quelles proportions dans l'émail ?

Deuxième remarque : Le calcium est quasi-absent, ce n'est peut-être pas un hasard, mon expérience me permet de penser qu'il n'est pas favorable au bleu.

Troisième remarque : Nous avons relativement peu de silice, le rapport silice sur alumine est de $2,26 / 0,574 = 3,93$. La vue des bleus produits par d'autres céramistes incite à croire que ceci doit être une règle étant donné que ces bleus sont souvent mats, avec des surfaces qui se salissent facilement. Cependant ce bleu est particulièrement rugueux, et on pourrait sans doute augmenter la silice ou diminuer l'alumine.

Quatrième remarque : La quantité d'alcalins est importante, on sait que les bleus égyptiens étaient particulièrement alcalins, il faudra certainement garder une forte proportion de ces éléments, mais quels alcalins seront les plus favorables ?

Pour conduire une étude, il faut partir d'une formule et faire varier les paramètres d'une façon raisonnée, mon premier souci a donc été de choisir une formule de "démarrage."

Recherche du point de départ d'une exploration

Dans un premier temps je voulais faire varier le baryum en le remplaçant par du calcium, mais je voulais le faire varier plus largement que ne le permet la formule de BC1, j'ai donc diminué un peu les alcalins .

Quelle valeur choisir pour les alcalins ?

J'ai choisi de passer de 0,534 à 0,328 (les chiffres ont été en partie guidés par le choix des matières premières). À partir de là, je pouvais faire varier les alcalino-terreux plus largement : le baryum passerait de 0,647 à 0 pendant que de calcium varierait de 0,007 à 0,654.

Quelle valeur pour la silice et l'alumine ?

J'augmente un peu la silice et je diminue l'alumine pour avoir une surface plus satinée, la silice passe approximativement à 2,5 et l'alumine descend à 0,425 ce qui nous donne un rapport de 5,88. Ceci est encore un rapport faible, mais l'aspect de bleus habituels le justifie dans un premier temps.

Quelles valeurs pour la concentration en cuivre ?

Il m'apparaît que si j'utilise la méthodes des mélanges en carré à 25 compositions, je peux observer simultanément l'influence du remplacement calcium / baryum et l'influence de l'augmentation de la concentration en cuivre. Je ferai donc varier la quantité de bouillie bordelaise introduite de 0,7 à 3,5 pour cent.

Bien entendu, je n'étais pas sûr de rien, mais il fallait commencer.
Le bleu au baryum pur et contenant 2 % de bouillie sera appelé BD, à vrai dire, je m'étais assuré qu'il se rapprochait bien du bleu avant de continuer à travailler.

La substitution baryum / calcium et la concentration du cuivre

Description des essais

Ci-dessous nous trouverons successivement les recettes des suspensions préparées et leurs formules.

Le bleu BD se trouve au numéro 23.

Recettes réalisées

1		2		3		4		5	
Feld. K	691	Feld. K	691	Feld. K	691	Feld. K	691	Feld. K	691
Craie	226	Craie	226	Craie	226	Craie	226	Craie	226
C. de Ba	0	C. de Ba	0	C. de Ba	0	C. de Ba	0	C. de Ba	0
kaolin A	51	kaolin A	51	kaolin A	51	kaolin A	51	kaolin A	51
Silice	36	Silice	36	Silice	36	Silice	36	Silice	36
bouillie b	7	bouillie b	14	bouillie b	21	bouillie b	28	bouillie b	35
6		7		8		9		10	
Feld. K	661	Feld. K	661	Feld. K	661	Feld. K	661	Feld. K	661
Craie	170	Craie	170	Craie	170	Craie	170	Craie	170
C. de Ba	91	C. de Ba	91	C. de Ba	91	C. de Ba	91	C. de Ba	91
kaolin A	49	kaolin A	49	kaolin A	49	kaolin A	49	kaolin A	49
Silice	35	Silice	35	Silice	35	Silice	35	Silice	35
bouillie b	7	bouillie b	14	bouillie b	21	bouillie b	28	bouillie b	35
11		12		13		14		15	
Feld. K	630	Feld. K	630	Feld. K	630	Feld. K	630	Feld. K	630
Craie	113	Craie	113	Craie	113	Craie	113	Craie	113
C. de Ba	181	C. de Ba	181	C. de Ba	181	C. de Ba	181	C. de Ba	181
kaolin A	47	kaolin A	47	kaolin A	47	kaolin A	47	kaolin A	47
Silice	34	Silice	34	Silice	34	Silice	34	Silice	34
bouillie b	7	bouillie b	14	bouillie b	21	bouillie b	28	bouillie b	35
16		17		18		19		20	
Feld. K	600	Feld. K	600	Feld. K	600	Feld. K	600	Feld. K	600
Craie	57	Craie	57	Craie	57	Craie	57	Craie	57
C. de Ba	272	C. de Ba	272	C. de Ba	272	C. de Ba	272	C. de Ba	272
kaolin A	44	kaolin A	44	kaolin A	44	kaolin A	44	kaolin A	44
Silice	32	Silice	32	Silice	32	Silice	32	Silice	32
bouillie b	7	bouillie b	14	bouillie b	21	bouillie b	28	bouillie b	35
21		22		23 BD		24		25	
Feld. K	569	Feld. K	569	Feld. K	569	Feld. K	569	Feld. K	569
Craie	0	Craie	0	Craie	0	Craie	0	Craie	0
C. de Ba	362	C. de Ba	362	C. de Ba	362	C. de Ba	362	C. de Ba	362
kaolin A	42	kaolin A	42	kaolin A	42	kaolin A	42	kaolin A	42
Silice	31	Silice	31	Silice	31	Silice	31	Silice	31
bouillie b	7	bouillie b	14	bouillie b	21	bouillie b	28	bouillie b	35

Voir photographies N° 24 - 25 Pages 58 - 59

Formules simplifiées de recettes réalisées

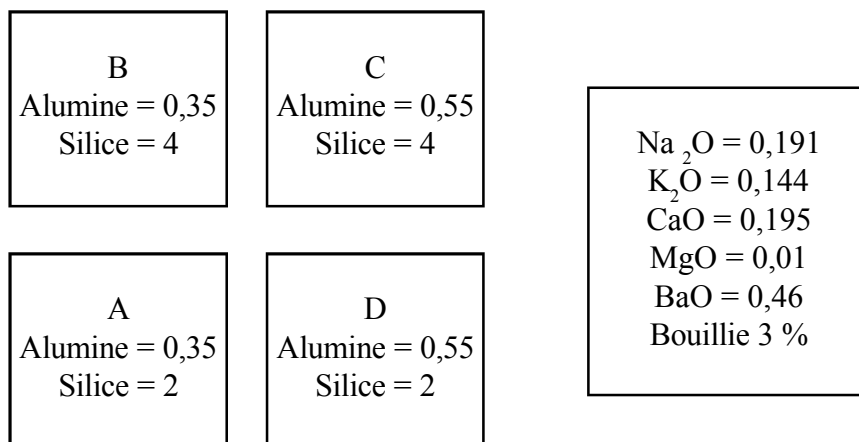
1		2		3		4		5	
Na2O	0,108	Na2O	0,108	Na2O	0,108	Na2O	0,108	Na2O	0,108
K2O	0,228	K2O	0,228	K2O	0,228	K2O	0,228	K2O	0,228
CaO	0,654	CaO	0,654	CaO	0,654	CaO	0,654	CaO	0,654
BaO	0,000	BaO	0,000	BaO	0,000	BaO	0,000	BaO	0,000
Al2O3	0,425	Al2O3	0,425	Al2O3	0,425	Al2O3	0,425	Al2O3	0,425
SiO2	2,497	SiO2	2,497	SiO2	2,497	SiO2	2,497	SiO2	2,497
bouillie b	0,7%	bouillie b	1,4%	bouillie b	2,1%	bouillie b	2,8%	bouillie b	3,5%
6		7		8		9		10	
Na2O	0,108	Na2O	0,108	Na2O	0,108	Na2O	0,108	Na2O	0,108
K2O	0,228	K2O	0,228	K2O	0,228	K2O	0,228	K2O	0,228
CaO	0,515	CaO	0,515	CaO	0,515	CaO	0,515	CaO	0,515
BaO	0,140	BaO	0,140	BaO	0,140	BaO	0,140	BaO	0,140
Al2O3	0,425	Al2O3	0,425	Al2O3	0,425	Al2O3	0,425	Al2O3	0,425
SiO2	2,497	SiO2	2,497	SiO2	2,497	SiO2	2,497	SiO2	2,497
bouillie b	0,7%	bouillie b	1,4%	bouillie b	2,1%	bouillie b	2,8%	bouillie b	3,5%
11		12		13		14		15	
Na2O	0,108	Na2O	0,108	Na2O	0,108	Na2O	0,108	Na2O	0,108
K2O	0,228	K2O	0,228	K2O	0,228	K2O	0,228	K2O	0,228
CaO	0,362	CaO	0,362	CaO	0,362	CaO	0,362	CaO	0,362
BaO	0,292	BaO	0,292	BaO	0,292	BaO	0,292	BaO	0,292
Al2O3	0,425	Al2O3	0,425	Al2O3	0,425	Al2O3	0,425	Al2O3	0,425
SiO2	2,497	SiO2	2,497	SiO2	2,497	SiO2	2,497	SiO2	2,497
bouillie b	0,7%	bouillie b	1,4%	bouillie b	2,1%	bouillie b	2,8%	bouillie b	3,5%
16		17		18		19		20	
Na2O	0,108	Na2O	0,108	Na2O	0,108	Na2O	0,108	Na2O	0,108
K2O	0,228	K2O	0,228	K2O	0,228	K2O	0,228	K2O	0,228
CaO	0,195	CaO	0,195	CaO	0,195	CaO	0,195	CaO	0,195
BaO	0,460	BaO	0,460	BaO	0,460	BaO	0,460	BaO	0,460
Al2O3	0,425	Al2O3	0,425	Al2O3	0,425	Al2O3	0,425	Al2O3	0,425
SiO2	2,497	SiO2	2,497	SiO2	2,497	SiO2	2,497	SiO2	2,497
bouillie b	0,7%	bouillie b	1,4%	bouillie b	2,1%	bouillie b	2,8%	bouillie b	3,5%
21		22		23 BD		24		25	
Na2O	0,108	Na2O	0,108	Na2O	0,108	Na2O	0,108	Na2O	0,108
K2O	0,228	K2O	0,228	K2O	0,228	K2O	0,228	K2O	0,228
CaO	0,007	CaO	0,007	CaO	0,007	CaO	0,007	CaO	0,007
BaO	0,647	BaO	0,647	BaO	0,647	BaO	0,647	BaO	0,647
Al2O3	0,425	Al2O3	0,425	Al2O3	0,425	Al2O3	0,425	Al2O3	0,425
SiO2	2,497	SiO2	2,497	SiO2	2,497	SiO2	2,497	SiO2	2,497
bouillie b	0,7%	bouillie b	1,4%	bouillie b	2,1%	bouillie b	2,8%	bouillie b	3,5%

Conclusions et nouveau point de départ

- On peut obtenir des bleus en oxydation et en réduction, cependant, cela semble plus facile en oxydation.
- Les glaçures alcalino-calciques (en haut) développent du rouge ou du vert, mais pas de bleu.
- Il semble qu'un peu de calcium favorise les bleus soutenus.
- Le bleu est d'autant plus soutenu que la concentration en cuivre est importante.
- Le N° 19 de cette recherche peut constituer le nouveau point de départ pour la suite.

La variation silice / alumine

Définition de la zone explorée



La réalité des matières premières fera varier légèrement des valeurs de départ.

Recettes réalisées

B 1		2		3		4		5 C	
Néphéline	365	Néphéline	361	Néphéline	357	Néphéline	352	Néphéline	348
craie	40	craie	40	craie	39	craie	39	craie	38
carb. De Ba	218	carb. De Ba	216	carb. De Ba	213	carb. De Ba	211	carb. De Ba	208
Alumine	0	Alumine	11	Alumine	22	Alumine	33	Alumine	44
Silice	374	Silice	370	Silice	366	Silice	361	Silice	357
6		7		8		9		10	
Néphéline	403	Néphéline	397	Néphéline	392	Néphéline	387	Néphéline	382
craie	44	craie	43	craie	43	craie	42	craie	42
carb. De Ba	240	carb. De Ba	237	carb. De Ba	234	carb. De Ba	231	carb. De Ba	228
Alumine	0	Alumine	12	Alumine	24	Alumine	36	Alumine	48
Silice	310	Silice	306	Silice	303	Silice	299	Silice	296
11		12		13		14		15	
Néphéline	440	Néphéline	434	Néphéline	428	Néphéline	421	Néphéline	415
craie	48	craie	47	craie	47	craie	46	craie	45
carb. De Ba	263	carb. De Ba	259	carb. De Ba	255	carb. De Ba	251	carb. De Ba	248
Alumine	0	Alumine	13	Alumine	26	Alumine	39	Alumine	53
Silice	246	Silice	243	Silice	240	Silice	237	Silice	234
16		17		18		19		20	
Néphéline	478	Néphéline	470	Néphéline	463	Néphéline	456	Néphéline	449
craie	52	craie	51	craie	50	craie	49	craie	49
carb. De Ba	285	carb. De Ba	280	carb. De Ba	276	carb. De Ba	272	carb. De Ba	267
Alumine	0	Alumine	14	Alumine	28	Alumine	43	Alumine	57
Silice	182	Silice	180	Silice	177	Silice	175	Silice	173
21 A		22		23		24		25 D	
Néphéline	515	Néphéline	507	Néphéline	499	Néphéline	490	Néphéline	482
craie	56	craie	55	craie	54	craie	53	craie	52
carb. De Ba	307	carb. De Ba	302	carb. De Ba	297	carb. De Ba	292	carb. De Ba	287
Alumine	0	Alumine	15	Alumine	31	Alumine	46	Alumine	61
Silice	118	Silice	116	Silice	115	Silice	113	Silice	111

Le point de départ se situe dans la zone à motif entre les numéros 17 et 18

Formules simplifiées de recettes réalisées

B 1			2			3			4			5 C		
Na2O	0,191	Silice/ Alumine	Na2O	0,191	Silice/ Alumine	Na2O	0,191	Silice/ Alumine	Na2O	0,191	Silice/ Alumine	Na2O	0,191	Silice/ Alumine
K2O	0,145		K2O	0,145		K2O	0,145		K2O	0,145		K2O	0,145	
CaO	0,198		CaO	0,198		CaO	0,198		CaO	0,198		CaO	0,198	
BaO	0,465		BaO	0,466		BaO	0,466		BaO	0,466		BaO	0,466	
Al2O3	0,362		Al2O3	0,409		Al2O3	0,457		Al2O3	0,505		Al2O3	0,553	
SiO2	4,032	11,2	SiO2	4,033	9,9	SiO2	4,034	8,8	SiO2	4,035	8,0	SiO2	4,036	7,3
6			7			8			9			10		
Na2O	0,191	Silice/ Alumine	Na2O	0,191	Silice/ Alumine	Na2O	0,191	Silice/ Alumine	Na2O	0,191	Silice/ Alumine	Na2O	0,191	Silice/ Alumine
K2O	0,145		K2O	0,145		K2O	0,145		K2O	0,145		K2O	0,145	
CaO	0,197		CaO	0,197		CaO	0,197		CaO	0,197		CaO	0,197	
BaO	0,464		BaO	0,464		BaO	0,465		BaO	0,465		BaO	0,466	
Al2O3	0,359		Al2O3	0,407		Al2O3	0,456		Al2O3	0,505		Al2O3	0,553	
SiO2	3,524	9,8	SiO2	3,526	8,7	SiO2	3,528	7,7	SiO2	3,530	7,0	SiO2	3,532	6,4
11			12			13			14			15		
Na2O	0,191	Silice/ Alumine	Na2O	0,191	Silice/ Alumine	Na2O	0,192	Silice/ Alumine	Na2O	0,192	Silice/ Alumine	Na2O	0,192	Silice/ Alumine
K2O	0,144		K2O	0,145		K2O	0,145		K2O	0,145		K2O	0,145	
CaO	0,197		CaO	0,197		CaO	0,199		CaO	0,197		CaO	0,197	
BaO	0,463		BaO	0,463		BaO	0,465		BaO	0,465		BaO	0,466	
Al2O3	0,356		Al2O3	0,405		Al2O3	0,454		Al2O3	0,504		Al2O3	0,554	
SiO2	3,016	8,5	SiO2	3,019	7,4	SiO2	2,855	6,3	SiO2	3,026	6,0	SiO2	3,029	5,5
16			17			18			19			20		
Na2O	0,191	Silice/ Alumine	Na2O	0,191	Silice/ Alumine	Na2O	0,192	Silice/ Alumine	Na2O	0,192	Silice/ Alumine	Na2O	0,192	Silice/ Alumine
K2O	0,144		K2O	0,144		K2O	0,145		K2O	0,145		K2O	0,145	
CaO	0,196		CaO	0,196		CaO	0,196		CaO	0,197		CaO	0,197	
BaO	0,461		BaO	0,462		BaO	0,464		BaO	0,465		BaO	0,466	
Al2O3	0,353		Al2O3	0,403		Al2O3	0,454		Al2O3	0,504		Al2O3	0,554	
SiO2	2,508	7,1	SiO2	2,512	6,2	SiO2	2,516	5,5	SiO2	2,521	5,0	SiO2	2,525	4,6
21 A			22			23			24			25 D		
Na2O	0,191	Silice/ Alumine	Na2O	0,191	Silice/ Alumine	Na2O	0,192	Silice/ Alumine	Na2O	0,192	Silice/ Alumine	Na2O	0,192	Silice/ Alumine
K2O	0,144		K2O	0,144		K2O	0,145		K2O	0,145		K2O	0,145	
CaO	0,195		CaO	0,195		CaO	0,196		CaO	0,196		CaO	0,197	
BaO	0,460		BaO	0,461		BaO	0,463		BaO	0,464		BaO	0,466	
Al2O3	0,350		Al2O3	0,401		Al2O3	0,453		Al2O3	0,504		Al2O3	0,555	
SiO2	2,000	5,7	SiO2	2,005	5,0	SiO2	2,011	4,4	SiO2	2,016	4,0	SiO2	2,021	3,6

Voir photographies N° 26 Page 60

Résultats

- Pour les valeurs les plus fortes de la silice, en réduction, on obtient des brun-rouges.
- En réduction franche, le bleu n'est perceptible que pour les valeurs les plus faibles de la silice.
- En cas de réduction légère, on obtient du bleu en dessous d'une droite joignant le numéro 16 au numéro 10, c'est à dire pour un rapport silice sur alumine inférieur à 6 (cette cuisson n'est pas présentée, faute de place)

Un bleu au lithium

Deux recettes au Lithium

À cette étape de mon travail sur les bleus, j'ai découvert que le lithium était susceptible de favoriser les bleus, en effet dans le livre de Greg DALY, pages 38 et 39 se trouve une comparaison de l'influence de l'introduction progressive de talc, de carbonate de baryum, d'alumine, de dioxyde de titane et de carbonate de lithium dans une base composée de néphéline (30), craie (26), silice (30), kaolin (14), carbonate de cuivre (2). Malgré certaines ambiguïtés de la photographie, on peut voir que le baryum et le lithium orientent les couleurs vers le bleu, le bleu au lithium semblant *a priori* plus limpide que celui réalisé avec du baryum.

J'ai donc préparé deux recettes au carbonate de lithium afin de vérifier l'influence éventuelle du lithium. Ces deux recettes ne sont pas à retenir en tant que telles : ce ne sont pas de bonnes glaçures à 1300°C, mais elles ne sont pas inintéressantes pour la suite de la mise au point de bleus de baryum / lithium.

Bleu de lithium N°1

Il est composé à partir de la proposition de Greg Daly en introduisant 20 % de carbonate de lithium, ceci donne la fiche descriptive suivante.

Bleu de Li N° 1									
		autres				Alumine	Silice		
Formule des oxydes		Na2O	K2O	Li2O	CaO	Al2O3	SiO2		
(formule moléculaire unité)		0,0626	0,0462	0,4991	0,3899	0,1740	1,3133		
		1,0000				0,1740	1,3133		
Nombres de moles									mases pour ~1 kg
carbonate de li	Li2Co3							200	
Nephéline	1mole KNaO							240	
Carbonate de calcium	CaCO3							208	
Kaolin A	1 Mole alumine							112	
Silice	SiO2							240	

Voir photographie N° 22 Page 57

- Cette recette donne un bleu pâle très coulant, craquelé, transparent, proche de certains quing-bai. En l'état, elle n'est pas très utilisable à 1300°C, cependant, le bleu est présent, on peut donc penser que l'introduction du lithium sera favorable aux bleus de cuivre.

- Pour éviter de tels écoulements, j'ai pensé introduire de la silice et de l'alumine.

En réalité, j'ai fait un émail purement lithique sur la base de la formule du spodumène qui, d'après mes sources, devait fondre dans la zone de température habituelle. Comme je n'ai pas de spodumène, j'ai réalisé un spodumène synthétique à base de carbonate de lithium.

Bleu de lithium N°2

bleu de spodumène synthétique							
		oxydes "glaçants"				Alumine	Silice
Formule des oxydes		Na2O	K2O	Li2O	CaO	Al2O3	SiO2
% masse d'oxydes glaçure cuite	100,00	0,0	0,0	8,1	0,0	27,4	64,5
formule moléculaire unité	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	4,000
		1,000				1,000	4,000
Nombres de moles							composition pour ~1Kg
Kaolin calciné	1 Mole alumine	0,004	0,040			1,000	2,170
carb de Li	Li2CO3			1,000			
Silice	SiO2						1,830
Bouillie bordelaise							40

Voir photographie N° 23 Page57

- Le résultat est surprenant : sur de petites surfaces d'essais, on obtient une glaçure bleu-vert "montée en crème Chantilly", il y a bien confirmation du bleu, même en réduction (avec refroidissement oxydant).

- Sur une pièce en porcelaine (VH4), on obtient une "peau de crapaud" brun-roux qui se décolle par plaques lors de l'explosion de la pièce au refroidissement. J'ai du mal à interpréter la différence de couleur entre l'essai et la pièce, en revanche l'explosion ne me surprend pas en raison du faible coefficient de dilatation des glaçures au lithium (on utilise celui-ci pour faire disparaître les craquelures dans les bleus de fer qui ne supportent pas l'ajout d'alumine. L'ébullition reste à interpréter également mais c'est un phénomène très fréquent lorsqu'il y a éviction d'un gaz à haute température, on peut penser à du gaz carbonique, cependant, il est peu probable que le carbonate ne soit pas décomposé avant les températures de nappage.

- Partant de ces deux expériences, j'ai pensé qu'on pouvait introduire progressivement le lithium dans une glaçure au baryum, avec un peu de chance, les deux éléments ne se contrarieraient pas et on pourrait aller vers des bleus moins secs, c'est à dire vers des surfaces plus satinées.

Il restait à choisir le point de départ de l'investigation et sa méthode.

Remarque : Dans la partie réservée aux couleurs du cuivre, on pourra voir ce que donne le cuivre dans un feldspath partiellement lithique et dans une pétalite. Heureusement, je n'ai pas commencé par ces essais qui m'auraient sans doute amené à dire que le lithium n'oriente pas la couleur du cuivre vers le bleu. En réalité le lithium, comme nous le verrons dans les essais ultérieurs, ne favorise l'obtention de bleus que dans un certain environnement, il a besoin d'autres éléments pour participer au développement de la couleur.

Introduction simultanée du baryum et du lithium

La zone explorée

B Na₂O = 0,045 K₂O = 0,028 Li₂O = 0,277 CaO = 0,65 BaO = 0	C Na₂O = 0,045 K₂O = 0,028 Li₂O = 0,277 CaO = 0 BaO = 0,65	Alumine = 0,45 Silice = 2,25 Silice sur alumine = 5 Bouillie bordelaise = 3%
A Na₂O = 0,2 K₂O = 0,15 Li₂O = 0 CaO = 0,65 BaO = 0	D Na₂O = 0,2 K₂O = 0,15 Li₂O = 0 CaO = 0,032 BaO = 0,618	

Recettes réalisées

B 1		2		3		4		5 C	
Néphéline	0	Néphéline	0	Néphéline	0	Néphéline	0	Néphéline	0
Carb. De Li	70	Carb. De Li	67	Carb. De Li	64	Carb. De Li	61	Carb. De Li	58
Carb. De Ca	224	Carb. De Ca	168	Carb. De Ca	112	Carb. De Ca	56	Carb. De Ca	0
Carb. De Ba	0	Carb. De Ba	90	Carb. De Ba	180	Carb. De Ba	270	Carb. De Ba	360
Kaolin A	461	Kaolin A	441	Kaolin A	421	Kaolin A	400	Kaolin A	380
Silice	249	Silice	238	Silice	228	Silice	217	Silice	206
6		7		8		9		10	
Néphéline	138	Néphéline	131	Néphéline	125	Néphéline	119	Néphéline	113
Carb. De Li	53	Carb. De Li	50	Carb. De Li	48	Carb. De Li	46	Carb. De Li	44
Carb. De Ca	224	Carb. De Ca	168	Carb. De Ca	112	Carb. De Ca	56	Carb. De Ca	0
Carb. De Ba	0	Carb. De Ba	90	Carb. De Ba	180	Carb. De Ba	270	Carb. De Ba	360
Kaolin A	370	Kaolin A	354	Kaolin A	337	Kaolin A	321	Kaolin A	305
Silice	220	Silice	211	Silice	201	Silice	192	Silice	183
11		12		13		14		15	
Néphéline	275	Néphéline	263	Néphéline	251	Néphéline	238	Néphéline	226
Carb. De Li	35	Carb. De Li	34	Carb. De Li	32	Carb. De Li	31	Carb. De Li	29
Carb. De Ca	225	Carb. De Ca	168	Carb. De Ca	112	Carb. De Ca	56	Carb. De Ca	0
Carb. De Ba	0	Carb. De Ba	90	Carb. De Ba	180	Carb. De Ba	270	Carb. De Ba	360
Kaolin A	279	Kaolin A	267	Kaolin A	254	Kaolin A	242	Kaolin A	229
Silice	191	Silice	183	Silice	175	Silice	167	Silice	160
16		17		18		19		20	
Néphéline	413	Néphéline	394	Néphéline	376	Néphéline	357	Néphéline	339
Carb. De Li	18	Carb. De Li	17	Carb. De Li	16	Carb. De Li	15	Carb. De Li	15
Carb. De Ca	225	Carb. De Ca	169	Carb. De Ca	112	Carb. De Ca	56	Carb. De Ca	0
Carb. De Ba	0	Carb. De Ba	90	Carb. De Ba	180	Carb. De Ba	269	Carb. De Ba	359
Kaolin A	188	Kaolin A	179	Kaolin A	171	Kaolin A	162	Kaolin A	154
Silice	162	Silice	156	Silice	149	Silice	143	Silice	136
21 A		22		23		24		25 D	
Néphéline	550	Néphéline	526	Néphéline	501	Néphéline	477	Néphéline	452
Carb. De Li	0	Carb. De Li	0	Carb. De Li	0	Carb. De Li	0	Carb. De Li	0
Carb. De Ca	225	Carb. De Ca	169	Carb. De Ca	113	Carb. De Ca	56	Carb. De Ca	0
Carb. De Ba	0	Carb. De Ba	90	Carb. De Ba	180	Carb. De Ba	269	Carb. De Ba	359
Kaolin A	97	Kaolin A	92	Kaolin A	88	Kaolin A	83	Kaolin A	78
Silice	133	Silice	128	Silice	123	Silice	118	Silice	113

Formules simplifiées de recettes réalisées

B 1		2		3		4		5 C	
Na2O	0,045	Na2O	0,045	Na2O	0,045	Na2O	0,045	Na2O	0,045
K2O	0,027	K2O	0,027	K2O	0,027	K2O	0,027	K2O	0,027
Li2O	0,275	Li2O	0,275	Li2O	0,276	Li2O	0,276	Li2O	0,276
CaO	0,645	CaO	0,506	CaO	0,353	CaO	0,186	CaO	0,000
BaO	0,000	BaO	0,139	BaO	0,291	BaO	0,459	BaO	0,644
Al2O3	0,447	Al2O3	0,447	Al2O3	0,446	Al2O3	0,446	Al2O3	0,446
SiO2	2,227	SiO2	2,225	SiO2	2,228	SiO2	2,224	SiO2	2,222
6		7		8		9		10	
Na2O	0,085	Na2O	0,085	Na2O	0,085	Na2O	0,085	Na2O	0,085
K2O	0,059	K2O	0,059	K2O	0,059	K2O	0,059	K2O	0,058
Li2O	0,205	Li2O	0,203	Li2O	0,204	Li2O	0,205	Li2O	0,206
CaO	0,644	CaO	0,508	CaO	0,327	CaO	0,192	CaO	0,008
BaO	0,001	BaO	0,138	BaO	0,288	BaO	0,453	BaO	0,635
Al2O3	0,447	Al2O3	0,448	Al2O3	0,447	Al2O3	0,447	Al2O3	0,446
SiO2	2,227	SiO2	2,235	SiO2	2,227	SiO2	2,227	SiO2	0,227
11		12		13		14		15	
Na2O	0,124	Na2O	0,124	Na2O	0,124	Na2O	0,124	Na2O	0,124
K2O	0,090	K2O	0,090	K2O	0,090	K2O	0,090	K2O	0,090
Li2O	0,134	Li2O	0,136	Li2O	0,134	Li2O	0,137	Li2O	0,135
CaO	0,646	CaO	0,509	CaO	0,361	CaO	0,197	CaO	0,017
BaO	0,002	BaO	0,137	BaO	0,285	BaO	0,448	BaO	0,630
Al2O3	0,447	Al2O3	0,448	Al2O3	0,448	Al2O3	0,447	Al2O3	0,447
SiO2	2,229	SiO2	2,231	SiO2	2,235	SiO2	2,230	SiO2	2,239
16		17		18		19		20	
Na2O	0,162	Na2O	0,162	Na2O	0,162	Na2O	0,163	Na2O	0,162
K2O	0,120	K2O	0,119	K2O	0,120	K2O	0,120	K2O	0,120
Li2O	0,068	Li2O	0,067	Li2O	0,066	Li2O	0,066	Li2O	0,069
CaO	0,645	CaO	0,513	CaO	0,365	CaO	0,204	CaO	0,025
BaO	0,002	BaO	0,136	BaO	0,283	BaO	0,444	BaO	0,621
Al2O3	0,447	Al2O3	0,447	Al2O3	0,448	Al2O3	0,449	Al2O3	0,447
SiO2	2,229	SiO2	0,233	SiO2	2,241	SiO2	2,249	SiO2	2,242
21 A		22		23		24		25 D	
Na2O	0,199	Na2O	0,990	Na2O	0,199	Na2O	0,200	Na2O	0,200
K2O	0,149	K2O	0,149	K2O	0,149	K2O	0,150	K2O	0,150
Li2O	0,000	Li2O	0,000	Li2O	0,000	Li2O	0,000	Li2O	0,000
CaO	0,647	CaO	0,515	CaO	0,371	CaO	0,210	CaO	0,033
BaO	0,003	BaO	0,135	BaO	0,279	BaO	0,439	BaO	0,616
Al2O3	0,449	Al2O3	0,448	Al2O3	0,448	Al2O3	0,449	Al2O3	0,448
SiO2	2,237	SiO2	2,238	SiO2	2,240	SiO2	2,253	SiO2	2,254

Voir photographies N° 27 Page 61

Conclusions :

- En oxydation, le lithium seul ne développe pas de bleu si les alcalino-terreux sont composés exclusivement par le calcium.

- Avec beaucoup de calcium, on voit de nouveau apparaître les noirs de cuivre.

La combinaison baryum / lithium fait passer le bleu par un maximum entre les essais 15 et 20.

- En réduction, le rouge domine, cependant, à droite, là où le baryum est à son maximum, on voit poindre le bleu.

- La palette obtenue est riche, cependant, certaines couleurs son difficiles à reproduire.

Quelques bleus comparés

Les bleus

Pour terminer cette étude sommaire des bleus de cuivre, je voudrais donner les recettes que j'ai trouvées récemment ou que des collègues céramistes ont bien voulu me confier. Ceci devrait permettre aux débutants de réaliser directement quelques bleus sans trop faire de recherches. De plus la comparaison de ces différents bleus devrait permettre de tirer de invariants qu'il est bon de confronter à l'étude qui précède.

Bleu lavande Nanouk NL1										
Formule molaire tripartite										
		oxydes "glaçants"						Alumine	Silice	
Formule des oxydes		Na2O	K2O	Li2O	CaO	MgO	BaO	Al2O3	SiO2	
% masse d'oxydes glaçure cuite		4,1	4,8	0,9	0,7	0,0	32,3	15,7	41,6	
formule moléculaire tripartite		0,179	0,135	0,082	0,033	0,000	0,571	0,417	1,879	
		1,000						0,417	1,879	
Pourcentage molaire	100,00	5,43	4,10	2,49	1,00	0,00	17,32	12,65	57,01	
Indicateurs										
Indicateur					Min.			Valeur	Max..	
Tension superficielle théorique					250,00			352,86	400,00	
Coef. de dilatation théo. * 10 exp 7					50,00			106,73	100,00	
Si lice / Tototal					50,00			57,01	85,00	
Alumine / Total					0,00			12,65	17,00	
Fusibilité = sil / (10 alu - 1)					0,40			0,59	1,50	
Silice / Alumine					2,00			4,51	20,00	
Calcaire / "glaçants"					0,00			0,03	1,00	
Recette										
Nombres de moles										composition pour ~ 1Kg
RR40		3E-04	2E-04		0,002	5E-04		0,08	0,1975	70
Néphéline	1 mole KNaO	0,179	0,135		0,030		0,003	0,336	1,322	470
Carbonate de baryum	BaCO3						0,568			371
carb de Li	Li2CO3			0,082						20
Silice	SiO2								0,357	71
Bouillie bordelaise										20

Cette recette m'a été aimablement fournie par Nanouk-Anne Pham, je l'ai légèrement transformée en remplaçant le Ball Clay par de la terre de Provins RR40 et le carbonate de cuivre par de la bouillie bordelaise. J'ai pu voir la qualité de cet émail sur des pièces exposées cet été 2003 à Lain chez Dauphine Scalbert. Personnellement je ne maîtrise pas bien la cuisson de cette glaçure qui, me semble-t-il, doit comporter des phases de réduction pour donner un très beau bleu lavande.

Bleu turquoise Nanouk NT1										
Formule molaire tripartite										
		oxydes "glaçants"						Alumine	Silice	
Formule des oxydes		Na2O	K2O	Li2O	CaO	MgO	BaO	Al2O3	SiO2	
% masse d'oxydes glaçure cuite		5,0	5,8	1,3	0,8	0,0	22,3	17,9	46,9	
formule moléculaire tripartite		0,232	0,175	0,129	0,042	0,000	0,423	0,509	2,269	
		1,001						0,509	2,269	
Pourcentage molaire	100,00	6,14	4,63	3,41	1,11	0,00	11,19	13,47	60,04	
Indicateurs										
Indicateur					Min.		Valeur	Max..		
Tension superficielle théorique					250,00		344,46	400,00		
Coef. de dilatation théo. * 10 exp 7					50,00		101,78	100,00		
Si lice / Tototal					50,00		60,04	85,00		
Alumine / Total					0,00		13,47	17,00		
Fusibilité = sil / (10 alu - 1)					0,40		0,55	1,50		
Silice / Alumine					2,00		4,46	20,00		
Calcaire / "glaçants"					0,00		0,04	1,00		
Recette										
Nombres de moles									composition pour ~ 1Kg	
RR40		3E-04	2E-04		0,002	5E-04		0,0715	0,1765	60
Néphéline	1mole KNaO	0,232	0,175		0,039		0,004	0,436	1,714	580
Carbonate de baryum	BaCO3						0,419			261
carb de Li	Li2CO3			0,129						30
Silice	SiO2								0,375	71
Bouillie bordelaise										20

La couleur n'est pas fondamentalement différente de celle de NL1, mais la surface est plus "sucrée". Cette glaçure se réduit mieux que NL1, elle donne alors un bleu mêlé de rose que je trouve assez agréable.

D'après Hamer, bleu de D. Cookson BDC1										
Formule molaire tripartite										
		oxydes "glaçants"						Alumine	Silice	
Formule des oxydes		Na2O	K2O	Li2O	CaO	MgO	BaO	Al2O3	SiO2	
% masse d'oxydes glaçure cuite		3,5	4,5	1,4	3,7	0,1	30,9	15,4	40,5	
formule moléculaire tripartite		0,136	0,112	0,112	0,158	0,003	0,479	0,360	1,607	
		1,000						0,360	1,607	
Pourcentage molaire	100,00	4,58	3,77	3,77	5,33	0,10	16,14	12,13	54,16	
Indicateurs										
Indicateur					Min.		Valeur	Max..		
Tension superficielle théorique					250,00		361,89	400,00		
Coef. de dilatation théo. * 10 exp 7					50,00		109,02	100,00		
Si lice / Tototal					50,00		54,16	85,00		
Alumine / Total					0,00		12,13	17,00		
Fusibilité = sil / (10 alu - 1)					0,40		0,62	1,50		
Silice / Alumine					2,00		4,46	20,00		
Calcaire / "glaçants"					0,00		0,16	1,00		
Recette										
Nombres de moles									composition pour ~ 1Kg	
Néphéline	1mole KNaO	0,118	0,089		0,020		0,002	0,223	0,877	340
Feldspath de Potassium	1Mole K2O	0,007	0,016		0,000	0,001		0,027	0,157	52
Carbonate de calcium	CaCO3				0,138				0,001	50
Carbonate de baryum	BaCO3						0,477			340
Kaolin A	1 Mole alumine	0,011	0,007			0,002		0,111	0,252	120
Silice	SiO2								0,326	71
Bouillie bordelaise										20

Sans doute le bleu le plus franc et le plus puissant des bleus présentés dans cette première partie. Il vire au noir marbré de bleu en réduction énergétique.

D'après Hamer, turquoise de S. Hugues BSH1										
Formule molaire tripartite										
		oxydes "glaçants"						Alumine	Silice	
Formule des oxydes		Na2O	K2O	Li2O	CaO	MgO	BaO	Al2O3	SiO2	
% masse d'oxydes glaçure cuite		3,9	4,6	0,0	3,7	0,0	30,5	13,8	43,5	
formule moléculaire tripartite		0,169	0,127	0,000	0,175	0,001	0,529	0,359	1,925	
		1,001						0,359	1,925	
Pourcentage molaire		100,00	5,14	3,87	0,00	5,33	0,03	16,10	10,93	58,60
Indicateurs										
Indicateur					Min.		Valeur	Max..		
Tension superficielle théorique					250,00		351,90	400,00		
Coef. de dilatation théo. * 10 exp 7					50,00		101,36	100,00		
Si l i c e / T o t a l					50,00		58,60	85,00		
Alumine / Total					0,00		10,93	17,00		
Fusibilité = sil / (10 alu - 1)					0,40		0,74	1,50		
Silice / Alumine					2,00		5,36	20,00		
Calcaire / "glaçants"					0,00		0,17	1,00		
Recette										
Nombres de moles										composition pour ~ 1Kg
Néphéline	1mole KNaO	0,166	0,125		0,028		0,003	0,313	1,229	441
Carbonate de calcium	CaCO3				0,147				0,001	50
Carbonate de baryum	BaCO3						0,526			346
Kao lin A	1 Mole alumine	0,005	0,003			0,001		0,050	0,114	50
Silice	SiO2								0,603	121
Bouillie bordelaise										20

Glaçure assez fusible qui a tendance à cristalliser au refroidissement, donnant ainsi des plages semi-mates dans un ensemble satiné.

D'après Hamer, turquoise de J. Keep TJK1										
Formule molaire tripartite										
		oxydes "glaçants"						Alumine	Silice	
Formule des oxydes		Na2O	K2O	Li2O	CaO	MgO	BaO	Al2O3	SiO2	
% masse d'oxydes glaçure cuite		6,9	8,1	3,6	1,1	0,0	8,9	21,5	49,9	
formule moléculaire tripartite		0,284	0,214	0,305	0,049	0,000	0,148	0,536	2,112	
		1,000						0,536	2,112	
Pourcentage molaire	100,00	7,79	5,87	8,36	1,34	0,00	4,06	14,69	57,89	
Indicateurs										
Indicateur					Min.		Valeur	Max..		
Tension superficielle théorique					250,00		340,21	400,00		
Coef. de dilatation théo. * 10 exp 7					50,00		113,33	100,00		
Si l i c e / T o t a l					50,00		57,89	85,00		
Alumine / Total					0,00		14,69	17,00		
Fusibilité = sil / (10 alu - 1)					0,40		0,48	1,50		
Silice / Alumine					2,00		3,94	20,00		
Calcaire / "glaçants"					0,00		0,05	1,00		
Recette										
Nombres de moles										composition pour ~ 1Kg
Néphéline	1mole KNaO	0,285	0,215		0,048		0,004	0,537	2,111	818
Carbonate de baryum	BaCO3						0,144			102
carb de Li	Li2CO3			0,305						81
Bouillie bordelaise										20

Glaçure très fusible qui devrait être cuite à une température inférieure à 1280°C. Aspect très proche de NT1, mais qui présente des facettes cristallines plus marquées. Très bleu.

D'après 7.01 de Lantéri BCL									
Formule molaire tripartite									
		oxydes "glaçants"					Alumine	Silice	
Formule des oxydes		Na2O	K2O	Li2O	CaO	BaO	Al2O3	SiO2	
% masse d'oxydes glaçure cuite		3,8	4,4	0,0	0,2	31,3	13,8	46,7	
formule moléculaire tripartite		0,195	0,145	0,000	0,010	0,650	0,430	2,480	
		1,000					0,430	2,480	
Pourcentage molaire	100,00	4,99	3,71	0,00	0,26	16,62	11,00	63,43	
Indicateurs									
Indicateur					Min.		Valeur	Max..	
Tension superficielle théorique					250,00		342,24	400,00	
Coef. de dilatation théo. * 10 exp 7					50,00		93,59	100,00	
Si l ice / Tototal					50,00		63,43	85,00	
Alumine / Total					0,00		11,00	17,00	
Fusibilité = sil / (10 alu - 1)					0,40		0,75	1,50	
Silice / Alumine					2,00		5,77	20,00	
Calcaire / "glaçants"					0,00		0,01	1,00	
Recette									
Nombres de moles									composition pour ~ 1Kg
Néphéline	1mole KNaO	0,187	0,141		0,032	0,003	0,352	1,385	422
Carbonate de baryum	BaCO3					0,647			362
Kaolin A	1 Mole alumine	0,008	0,005				0,080	0,182	68
Silice	SiO2							0,919	157
Bouillie bordelaise									30

Beau bleu veiné de bleu plus sombre ou de violet s'il y a eu des phases de réduction. L'auteur le présente comme devant être cuit en réduction, pour moi, il n'est vraiment bleu qu'en oxydation. Il existe certainement des cuisson faiblement réductrices qui lui permettent un bon développement.

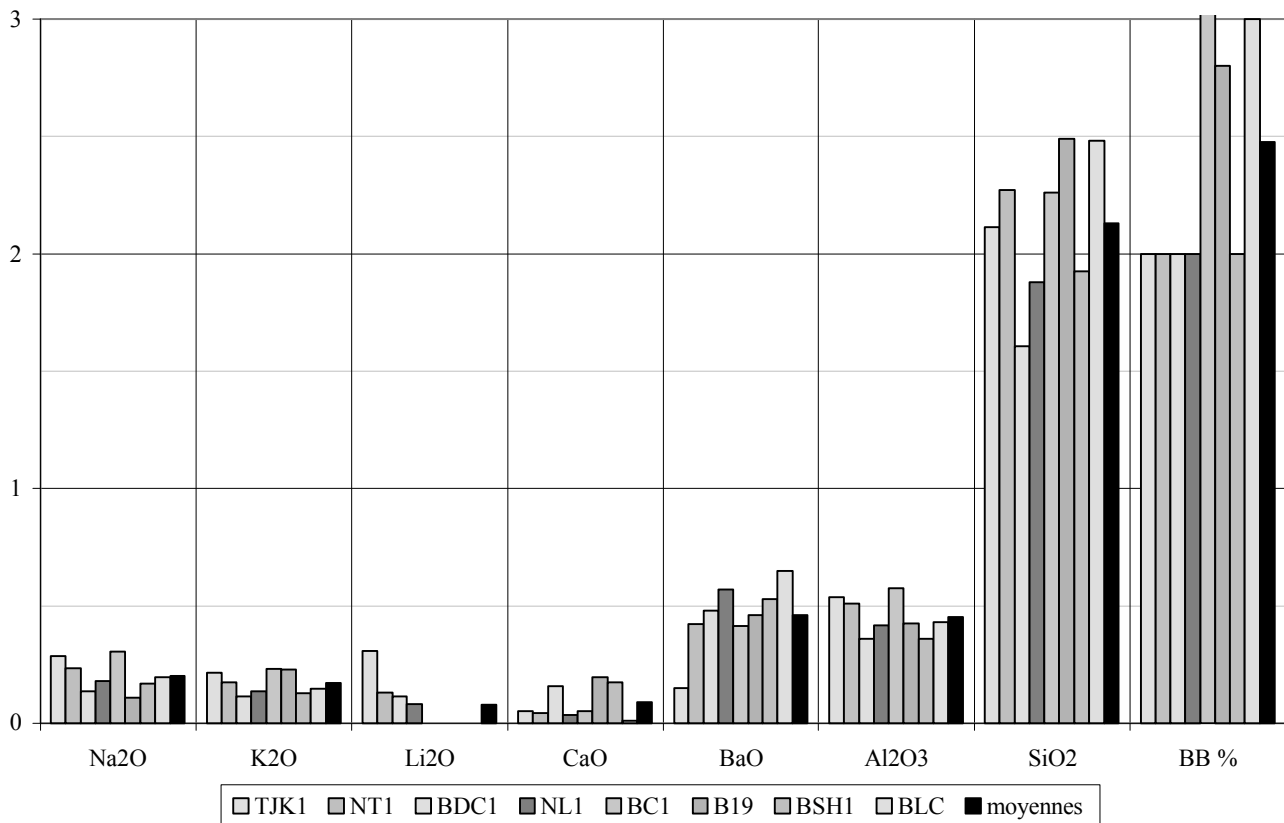
Remarque : comme pour quasiment toutes les glaçures empruntées à d'autres céramistes, je l'ai adaptée à mes matières premières et dans ce cas j'ai fait une synthèse de plusieurs recettes proches, il ne faut donc pas s'étonner d'avoir des résultats différents de ceux obtenus par le concepteur de l'émail.

La comparaion

Ce sont naturellement les formules qu'il est intéressant de comparer pour en tirer des tendances, des invariants voire des lois, même si celles ci arrivent "après la bataille", c'est à dire après avoir obtenu des glaçures utilisables. Il est assez satisfaisant de savoir prédire que telle formule pourra donner un bleu car son rapport silice sur alumine est suffisamment faible par exemple, par ailleurs, je pense à la transmission de savoirs : il me semble plus utile de partager des éléments théoriques et des méthodes que des recettes.

Comparaison des formules triparites

	Na2O	K2O	Li2O	CaO	BaO	Al2O3	SiO2	Bb %	Silice sur alumine
TJK1	0,284	0,214	0,305	0,049	0,148	0,536	2,112	2,0	3,9
NT1	0,232	0,175	0,129	0,042	0,423	0,509	2,269	2,0	4,5
BDC1	0,136	0,112	0,112	0,158	0,479	0,360	1,607	2,0	4,5
NL1	0,179	0,135	0,082	0,033	0,571	0,417	1,879	2,0	4,5
BC1	0,304	0,230	0,000	0,052	0,414	0,574	2,262	4,0	3,9
B19	0,108	0,228	0,000	0,195	0,460	0,424	2,490	2,8	5,9
BSH1	0,169	0,127	0,000	0,175	0,529	0,359	1,925	2,0	5,4
BLC	0,195	0,145	0,000	0,010	0,650	0,430	2,480	3,0	5,8
moyennes	0,20	0,17	0,08	0,09	0,46	0,45	2,13	2,48	4,79



Caractéristiques des bleus

- Les bleus comparés contiennent tous du baryum (il en existe sans baryum)
- La valeur de l'alumine se situe aux alentours de 0,45.
- La valeur de la silice est faible : aux environs de 2.
- Le rapport silice sur alumine ne dépasse pas 6.
- Le calcium est présent, mais en très faible quantité.
- La somme sodium + potassium se situe aux alentours de 0,35.
- Le lithium est utilisé, il n'est pas indispensable, mais il modifie assez sensiblement les glaçures.



CHAPITRE 16

AUTRES COULEURS DU CUIVRE

Il peut sembler bien curieux de commencer à se poser la question des couleurs que l'élément cuivre permet de réaliser lorsqu'on arrive vers la fin d'un petit ouvrage que prétend parler des glaçures de haute température possibles à réaliser à partir de ce métal. Cartésien, j'aurais bien aimé partir en sens inverse, c'est-à-dire faire une exploration vaste, puis me centrer sur quelques possibles. Je crois que l'attrait des rouges, mais aussi la chronologie de mon approche du problème ont primé sur la rigueur de mon exposé.

Chacun connaît les verts de cuivre, ils sont présents dans la céramique vernissée, dans le Rakou, dans le décor sur faïence, et naturellement dans le grès et la porcelaine, ils ne sont donc pas rares, en revanche, ils sont très inégaux, et il peut être passionnant de trouver le vert frais, le vert saturé ou le vert évanescent qui permettent de traduire une impression. Chacun a également rencontré le noir de cuivre naissant dans le coup de pinceau trop lourd qui a déposé trop d'oxyde sur une couverte stannifère ; ce noir qui prend un reflet métallique n'est que très rarement utilisé sur de grandes surfaces, on pourrait imaginer de le rendre moins violent et de lui donner un velouté que n'ont pas les noirs de fer. Si on regarde une sculpture de Pierre-Adrien Dalpayrat, on voit en réalité dans les rouges flambés, toutes les couleurs de l'arc en ciel, et en particulier la plus lumineuse d'entre elles, le jaune. Pourtant, il sera bien difficile d'isoler un des effets de ces coulures, les jaunes uniformes de cuivre sont rares, personnellement, je n'en ai jamais vu de beaux. Nous sommes certains maintenant que les rouges et les bleus existent et lors des expériences d'addition de titane et de bore dans le sang de boeuf, nous avons rencontré des mauves et des violets, il n'y a guère que les orangés qui se dérobent encore à nos investigations.

Si on prenait toutes les compositions de tous les diagrammes proposés par Daniel de Montmollin ou par Marc Uzan associés à des concentrations croissantes de cuivre, on trouverait sans doute des couleurs sublimes. Ce travail me semble herculéen, plus modestement, j'ai choisi de faire progresser la masse de bouillie bordelaise dans quelques glaçures de base alcalines et alcalino-terreuses et de faire cuire ces essais en oxydation et en réduction à 1300°C. Je me suis inspiré parfois des auteurs que je viens de citer pour trouver des compositions fusibles en particulier dans le cas des glaçures magnésiennes qui ne pourront fondre que dans des plages étroites du "plan silice-alumine".

Glaçures pouvant développer des couleurs

Protocole d'essais

Par la méthode des mélanges en ligne à 9 compositions, j'ai introduit progressivement de la bouillie bordelaise jusqu'à une valeur maximale de 8 %. Les résultats obtenus ne prétendent pas à une portée universelle.

1		2		3		4		5		6		7		8		9	
Base	100	Base	99	Base	98	Base	97	Base	96	Base	95	Base	94	Base	93	Base	92
Bb	0	Bb	1	Bb	2	Bb	3	Bb	4	Bb	5	Bb	6	Bb	7	Bb	8

Glaçures alcalines

Il existe un nombre incalculable de glaçures purement alcalines obtenues en faisant varier les proportions d'alcalins, de silice et d'alumine ; j' ai choisi quatre compositions très simples : une néphéline (principalement sodique), un feldspath purement potassique, une pétalite très fortement lithique et un feldspath contenant à la fois du sodium, du potassium et du lithium.

Au sodium / potassium

Néphéline									
Formule molaire tripartite									
		oxydes "glaçants"						Alumine	Silice
Formule des oxydes		Na2O	K2O	Li2O	CaO	MgO	BaO	Al2O3	SiO2
% masse d'oxydes glaçure cuite		7,9	9,2	0,0	1,2	0,1	0,3	24,5	56,8
formule moléculaire tripartite		0,510	0,385	0,000	0,087	0,010	0,008	0,963	3,792
		1,000						0,963	3,792
Pourcentage molaire	100,00	8,86	6,69	0,00	1,51	0,17	0,14	16,73	65,89
Indicateurs									
Indicateur		Min.		Valeur		Max..			
Tension superficielle théorique		250,00		324,21		400,00			
Coef. de dilatation théo. * 10 exp 7		50,00		89,21		100,00			
Si lice / Tototal		50,00		65,89		85,00			
Alumine / Total		0,00		16,73		17,00			
Fusibilité = sil / (10 alu - 1)		0,40		0,44		1,50			
Silice / Alumine		2,00		3,94		20,00			
Calcaire / "glaçants"		0,00		0,09		1,00			

Voir photographie N° 28 Page 62

Observations

- Donne un rouge-brun très sombre en réduction et un gris vert en oxydation.
- Tendance au retrait
- Semble un meilleur point de départ en direction du rouge ou du brun qu'en direction du vert.

Au potassium

Feldspath de potassium									
		oxydes "glaçants"						Alumine	Silice
Formule des oxydes		Na2O	K2O	Li2O	CaO	MgO	BaO	Al2O3	SiO2
% masse d'oxydes glaçure cuite		0,8	14,8	0,0	0,0	0,0	0,0	18,0	66,4
formule moléculaire tripartite		0,077	0,915	0,000	0,004	0,003	0,000	1,047	6,578
		0,999						1,047	6,578
Pourcentage molaire	100,00	0,89	10,61	0,00	0,05	0,03	0,00	12,14	76,28
Indicateurs									
Indicateur		Min.		Valeur		Max..			
Tension superficielle théorique		250,00		295,73		400,00			
Coef. de dilatation théo. * 10 exp 7		50,00		71,21		100,00			
Si lice / Tototal		50,00		76,28		85,00			
Alumine / Total		0,00		12,14		17,00			
Fusibilité = sil / (10 alu - 1)		0,40		0,69		1,50			
Silice / Alumine		2,00		6,28		20,00			

Voir photographie N° 29 Page 62

Observations

- Fond mal. Donne des rouges sombres si on ajoute beaucoup de bouillie.
- Bonne un gris en oxydation.

Au lithium

Pétalite									
		oxydes "glaçants"						Alumine	Silice
Formule des oxydes		Na2O	K2O	Li2O	CaO	MgO	Al2O3	SiO2	
% masse d'oxydes glaçure cuite		0,4	0,3	4,0	0,3	0,1	16,7	78,3	
formule moléculaire tripartite		0,038	0,018	0,898	0,030	0,016	1,089	8,695	
		1,000						1,089	8,695
Pourcentage molaire	100,00	0,35	0,17	8,33	0,28	0,15	10,10	80,63	
Indicateurs									
Indicateur		Min.		Valeur		Max..			
Tension superficielle théorique		250,00		333,11		400,00			
Coef. de dilatation théo. * 10 exp 7		50,00		41,72		100,00			
Si lice / Tototal		50,00		80,63		85,00			
Alumine / Total		0,00		10,10		17,00			
Fusibilité = sil / (10 alu - 1)		0,40		0,88		1,50			
Silice / Alumine		2,00		7,98		20,00			

Voir photographie N° 30 Page 62

Observations

- Le coefficient de dilatation du lithium provoque un décollement de la "glaçure".
- Brun-violacé en réduction, gris-vert en oxydation.

Mixte

Feldspath Reno Tarnos									
		oxydes "glaçants"						Alumine	Silice
Formule des oxydes		Na2O	K2O	Li2O	CaO	MgO	BaO	Al2O3	SiO2
% masse d'oxydes glaçure cuite		2,6	3,9	1,2	0,2	0,2	0,0	18,1	73,7
formule moléculaire tripartite		0,317	0,307	0,304	0,027	0,045	0,000	1,348	9,314
		1,000						1,348	9,314
Pourcentage molaire	100,00	2,72	2,63	2,61	0,23	0,39	0,00	11,56	79,87
Indicateurs									
Indicateur		Min.		Valeur		Max..			
Tension superficielle théorique		250,00		321,85		400,00			
Coef. de dilatation théo. * 10 exp 7		50,00		47,15		100,00			
Silice / Total		50,00		79,87		85,00			
Alumine / Total		0,00		11,56		17,00			
Fusibilité = sil / (10 alu - 1)		0,40		0,75		1,50			
Silice / Alumine		2,00		6,91		20,00			

Voir photographie N° 31 Page 63

Observations

- Fond bien en donnant un noir sans densité en réduction et un beige virant au gris-vert en oxydation.

Glaçures alcalino-terreuses

Les glaçures calciques seront représentées par l'eutectique et par une glaçure plus mate. L'eutectique au baryum constituera l'unique glaçure réalisée avec cet élément et nous examinerons plusieurs cas de glaçures au magnésium étant donné qu'on ne peut réaliser de glaçures au magnésium en raison de la température de fusion de l'eutectique (1330°C).

Au calcium**L'eutectique**

On pourra trouver la fiche de l'eutectique dans les volumes 1 et 2, on peut rappeler qu'il est constitué approximativement d'un tiers de craie, un tiers de kaolin et un tiers de silice ce qui donne la formule $\text{CaO} = 1$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,35$; $\text{SiO}_2 = 2,48$.

Dans ce cas particulier, en raison d'une erreur, la bouillie bordelaise a une concentration de 0 à 4 %.

Voir photographie N° 32 Page 63

Observations

- Glaçure brillante jaune gris en réduction, verte en oxydation

GC26 : Glaçure calcique mate

GC 26									
		oxydes "glaçants"				Alumine	Silice		
Formule des oxydes		Na2O	K2O	CaO	MgO	Al2O3	SiO2	Fe2O3	
% masse d'oxydes glaçure cuite		1,1	1,0	23,6	0,1	18,1	55,3	0,7	
formule moléculaire tripartite		0,039	0,024	0,930	0,008	0,392	2,030	0,010	
Pourcentage molaire	100,00	1,14	0,68	27,08	0,23	11,42	59,15	0,29	
Indicateurs									
Indicateur				Min.		Valeur	Max..		
Tension superficielle théorique				250,00		381,23	400,00		
Coef. de dilatation théo. * 10 exp 7				50,00		66,74	100,00		
Fusibilité = sil / (10 alu - 1)				0,40		0,70	1,50		
Silice / Alumine				2,00		5,18	20,00		
Calcaire / "glaçants"				0,00		0,93	1,00		
Carbonate de calcium	CaCO3			0,929			0,009		336
Kaolin A	1 Mole alumine	0,039	0,023		0,008	0,390	0,885	0,006	418
Silice	SiO2						1,133		243

Voir photographie N° 32 Page 63

Observations

- Glaçure mate donne un noir intéressant en réduction à partir de 2 % de bouillie bordelaise.
Vert mat en oxydation.

Au baryum : l'eutectique

Eutectique baryum approché									
Formule des oxydes		Na2O	K2O	Li2O	CaO	MgO	BaO	Al2O3	SiO2
% masse d'oxydes glaçure cuite		0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	34,5	10,1	55,0
formule moléculaire tripartite		0,002	0,018	0,000	0,000	0,000	0,980	0,430	4,000
		1,000						0,430	4,000
Pourcentage molaire	100,00	0,04	0,33	0,00	0,00	0,00	18,05	7,92	73,66
Indicateur				Min.			Valeur	Max..	
Tension superficielle théorique				250,00			344,52	400,00	
Coef. de dilatation théo. * 10 exp 7				50,00			58,49	100,00	
Fusibilité = sil / (10 alu - 1)				0,40			1,21	1,50	
Silice / Alumine				2,00			9,30	20,00	
Carbonate de baryum	BaCO3						0,980		403
Kaolin calciné	1 Mole alumine	0,002	0,017					0,430	214
Silice	SiO2							3,060	383

Voir photographie N° 34 Page 63

Observations

- Dans certaines cuissons, réductrices, j'ai obtenu un rouge satisfaisant. Dans la série présentée, on a plutôt un gris tendant vers le rouge. En oxydation, la gamme de verts produite est assez séduisante, elle se rapproche de celle obtenue avec le cuivre sur certaines faïences stannifères.

Au magnésium

Il est nécessaire d'introduire d'autres alcalins ou alcalino-terreux dans les glaçures si nous voulons obtenir un mélange fusible aux températures du grès. Voici quatre mélanges dans lesquels le magnésium est majoritaires, ils seront additionnés à des quantités croissantes de bouillie bordelaise.

T3F7									
		oxydes "glaçants"				Alumine	Silice		
Formule des oxydes		Na2O	K2O	CaO	MgO	Al2O3	SiO2	Fe2O3	
% masse d'oxydes glaçure cuite		6,7	0,0	1,4	10,1	13,8	68,0	0,0	
formule moléculaire tripartite		0,281	0,000	0,064	0,655	0,351	2,940	0,000	
Pourcentage molaire	100,00	6,55	0,00	1,49	15,26	8,18	68,52	0,00	
Indicateur		Min.				Valeur	Max..		
Tension superficielle théorique		250,00				352,44	400,00		
Coef. de dilatation théo. * 10 exp 7		50,00				59,51	100,00		
Silice / Alumine		2,00				8,38	20,00		
Feldspath de sodium	1 mole Na2O	0,281		0,051	0,011	0,337	2,130	0,001	703
Talc L O O	1 MgO			0,013	0,645	0,013	0,810	0,007	302

Voir photographie N° 35 Page 64

Observations

- Matière soyeuse gris-roux en réduction, beige à vert-gris en oxydation.

MG1									
		oxydes "glaçants"				Alumine	Silice		
Formule des oxydes		Na2O	K2O	CaO	MgO	Al2O3	SiO2	Fe2O3	
% masse d'oxydes glaçure cuite		0,0	0,7	8,0	13,4	19,8	58,1	0,0	
formule moléculaire tripartite		0,000	0,016	0,294	0,690	0,400	2,000	0,000	
Pourcentage molaire	100,00	0,00	0,47	8,65	20,29	11,76	58,82	0,00	
Indicateur		Min.				Valeur	Max..		
Tension superficielle théorique		250,00				388,50	400,00		
Coef. de dilatation théo. * 10 exp 7		50,00				49,24	100,00		
Silice / Alumine		2,00				5,00	20,00		
Talc L O O	1 MgO			0,014	0,690	0,014	0,866	0,007	385
Carbonate de calcium	CaCO3			0,281			0,003		128
Kaolin calciné	1 Mole alumine	0,002	0,015			0,387	0,840	0,004	417
Silice	SiO2						0,300		81

Voir photographie N° 36 Page 64

Observations

- Émail mat légèrement recristallisé en surface, tire vers le gris-rose en réduction et vers le crème-brun en oxydation. Ne donne pas de vert.

MG2									
		oxydes "glaçants"				Alumine	Silice		
Formule des oxydes		Na2O	K2O	CaO	MgO	Al2O3	SiO2	Fe2O3	
% masse d'oxydes glaçure cuite		3,6	4,3	0,0	9,6	20,9	61,6	0,0	
formule moléculaire tripartite		0,168	0,132	0,000	0,700	0,600	3,000	0,000	
Pourcentage molaire	100,00	3,65	2,87	0,00	15,22	13,04	65,22	0,00	
Indicateur				Min.		Valeur	Max..		
Tension superficielle théorique				250,00		354,97	400,00		
Coef. de dilatation théo. *10 exp 7				50,00		58,93	100,00		
Silice / Alumine				2,00		5,00	20,00		
Néphéline	1 mole KNaO	0,164	0,124	0,028		0,309	1,215	0,001	443
Talc L OO	1 MgO			0,014	0,700	0,014	0,879	0,007	293
Kaolin calciné	1 Mole alumine	0,001	0,011			0,278	0,603	0,003	225
Silice	SiO2						0,300		61

Voir photographie N° 37 Page 64

Observations

- Émail satiné, dense. Teinte grise dans laquelle on devine une pointe de rouge en réduction.
De beige à gris-vert en oxydation, selon la concentration.

MG3									
		oxydes "glaçants"				Alumine	Silice		
Formule des oxydes		Na2O	K2O	CaO	MgO	Al2O3	SiO2	Fe2O3	
% masse d'oxydes glaçure cuite		2,3	3,1	2,0	9,8	19,7	63,1	0,0	
formule moléculaire tripartite		0,108	0,092	0,100	0,700	0,550	3,000	0,000	
Pourcentage molaire	100,00	2,37	2,02	2,20	15,38	12,09	65,93	0,00	
Indicateur				Min.		Valeur	Max..		
Tension superficielle théorique				250,00		359,73	400,00		
Coef. de dilatation théo. *10 exp 7				50,00		53,00	100,00		
Silice / Alumine				2,00		5,45	20,00		
Néphéline	1 mole KNaO	0,106	0,080	0,018		0,200	0,785	0,001	289
Talc L OO	1 MgO			0,014	0,700	0,014	0,879	0,007	296
Carbonate de calcium	CaCO3			0,068			0,001		24
Kaolin calciné	1 Mole alumine	0,001	0,013			0,337	0,731	0,003	275
Silice	SiO2						0,608		125

Voir photographie N° 38 Page 64

Observations

- Glaçure satinée, grise en réduction, gris-vert en oxydation.

Un regard sur les possibles

Lorsqu'on jette un regard sur les planches couleurs de ce fascicule, on voit déjà que l'élément cuivre permet non seulement les rouges, verts et bleus classiques, mais aussi des noirs, des rouges marbrés de bleu, des gris-bleus, des gris-roses, des mauves, des beiges.... Un ami m'a donné le catalogue Sotheby's d'une vente de poteries de Ruskin (actif dans le premier tiers du XX^{ème} siècle), je suis resté abasourdi par la diversité des glaçures au cuivre présentées dans cette vente et je me suis senti totalement dépassé par autant de savoir-faire technique, aussi bien dans la conception des glaçures que dans leur emploi. Je crois qu'on pourrait passer une vie à jouer avec toutes les couleurs, matières et textures des glaçures cupriques, mais ce serait sans doute un piège, la céramique n'y trouverait pas forcément son compte, le céramiste non plus.

Comment un seul élément permet-il autant de possibilités ? Je fais l'hypothèse que c'est la faible énergie nécessaire au passage des différents états d'oxydation du cuivre qui permet à ce dernier de changer d'aspect au grès d'un passage de flamme, d'un courant d'air même bref, autrement dit de tout aléas de cuisson aussi minime soit-il. On peut admirer les flambés, à la fin du XIX^{ème}, il en a été beaucoup produit, je pense à ceux de Chaplet, de Delaherche entre autres, mais je crois que les glaçures qui m'impressionnent le plus sont les rubis uniformes, les bleus monochromes denses et lumineux, les noirs chauds qui présentent seulement une arrête verdâtre, autrement dit, tout ce que la maîtrise a pu soustraire au hasard pour donner au céramiste la possibilité de s'exprimer vraiment.

Les rouges et bleus ont déjà été évoqués, je voudrai terminer sur les noirs et les verts uniformes qui, à la vérité, se montrent aussi difficiles à réussir que les deux premiers.

Des noirs

Nous avons rencontrés des noirs à quatre reprises au moins dans ce qui précède, il serait sans doute judicieux de voir ce que ces situations ont en commun pour essayer d'en tirer quelques invariants de l'obtention du noir.

Noirs dans le carré calcium / baryum et cuivre

Photo page 58, texte page 68,69

Il est clair que ce noir n'apparaît que pour les valeurs les plus fortes de la concentration en cuivre. Le baryum ne développe pas les noirs, en revanche, le calcium donne des îlots noirs en oxydation.

Na2O	K2O	CaO	BaO	Al2O3	SiO2	bouillie b
0,108	0,228	0,654	0,000	0,425	2,497	3,5%

Noir dans un émail mat calcique

Voir photo page 63 et texte page 85

Cette fois c'est en réduction que nous obtenons du noir, en oxydation, c'est le vert qui "sort". La concentration en bouillie bordelaise allant en croissant vers la droite, c'est entre 3 et 6% qu'on a les meilleurs résultats.

Na2O	K2O	CaO	MgO	Al2O3	SiO2	Fe2O3
0,039	0,024	0,930	0,008	0,392	2,030	0,010

Noirs dans le carré lithium / baryum

Photo page 61 texte pages 74, 75

C'est encore en oxydation que le noir se développe le mieux, en réduction, nous obtenons des gris coloré intéressants mais pas de noir véritable. Dans cette expérience, la quantité de cuivre a été conservée constante, celle-ci n'intervient donc pas. À droite, c'est le baryum qui est majoritaire, à gauche c'est le calcium, une fois encore on voit que le baryum favorise le bleu, le calcium le vert et le noir. L'interprétation du rôle du lithium semble plus délicate : il semble qu'un peu de lithium soit bénéfique au noir, mais qu'un excès le fasse disparaître.

11		12	
Na2O	0,124	Na2O	0,124
K2O	0,090	K2O	0,090
Li2O	0,134	Li2O	0,136
CaO	0,646	CaO	0,509
BaO	0,002	BaO	0,137
Al2O3	0,447	Al2O3	0,448
SiO2	2,229	SiO2	2,231
16		17	
Na2O	0,162	Na2O	0,162
K2O	0,120	K2O	0,119
Li2O	0,068	Li2O	0,067
CaO	0,645	CaO	0,513
BaO	0,002	BaO	0,136
Al2O3	0,447	Al2O3	0,447
SiO2	2,229	SiO2	0,233

Bouillie bordelaise 3 %

Noir de Stolzenfeld d'après Matthes

NCM									
Formule molaire tripartite									
		oxydes "glaçants"				Alumine	Silice	"Colorants"	
Formule des oxydes		Na2O	K2O	CaO	MgO	Al2O3	SiO2	TiO2	Fe2O3
% masse d'oxydes glaçure cuite		3,0	4,7	13,9	0,7	23,5	54,2	0,0	0,0
formule moléculaire tripartite		0,134	0,134	0,681	0,051	0,634	2,488	0,000	0,000
		1,000				0,634	2,488		
Pourcentage molaire	100,00	3,25	3,25	16,52	1,24	15,38	60,36	0,00	0,00
Indicateurs									
Indicateur				Min.		Valeur	Max..		
Tension superficielle théorique				250,00		364,86	400,00		
Coef. de dilatation théo. * 10 exp 7				50,00		72,51	100,00		
Si lice / Tototal				50,00		60,36	85,00		
Alumine / Total				0,00		15,38	17,00		
Fusibilité = sil / (10 alu - 1)				0,40		0,47	1,50		
Silice / Alumine				2,00		3,92	20,00		
Calcaire / "glaçants"				0,00		0,68	1,00		
Recette									
Nombres de moles									composition pour ~ 1kg
Feldspath de sodium	1mole Na2O	0,077		0,014	0,003	0,093	0,586	0,000	165
Feldspath de Potassium	1 Mole K2O	0,055	0,120	0,004	0,005	0,201	1,179	0,000	347
Dolomie	1 Mole MgO			0,046	0,043				29
Carbonate de calcium	CaCO3			0,617			0,006		202
Kaolin calciné	1 Mole alumine	0,001	0,014			0,340	0,738	0,003	263
Bouillie bordelaise									40

Ce noir ne provient pas des essais précédents, je l'ai tiré du livre de Matthes, je l'ai essayé en oxydation, il donne un noir mat qui vire au vert-beige lorsque la couche devient mince ou si la glaçure est posée sur une arrête.

Recherche d'invariants

Type de cuisson : il semble bien que ce soit en oxydation qu'on ait plus de chances de produire du noir de cuivre.

Quantité de cuivre : on a observé du noir avec des concentrations élevées qui laissent penser qu'il y a un phénomène de précipitation des composés du cuivre due à la saturation : entre 4 et 6 % de bouillie bordelaise, on doit être dans de bonnes concentrations.

Type de glaçure : dans la formule de Seger de ces glaçures le calcium se situe aux alentours de 0,6.

Silice et alumine :

L'alumine est comprise entre 0,4 et 0,63, ce sont des valeurs assez fortes, les glaçures sont plutôt mates.

La silice se situe entre 2 et 2,5, ce qui est en revanche assez faible.

Le rapport silice sur alumine est donc compris entre 3,17 et 6,25, au total un rapport faible.

Le plus facile à reproduire, parmi les noirs précédents, est celui tiré de l'ouvrage de Matthes (voir bibliographie).

J'ai bien conscience qu'il s'agit ici d'une approche très insuffisante tout au plus nous permettra-t-elle d'éviter éventuellement les noirs de cuivre...

Les noirs de cuivre sont souvent associé aux verts, couleur dont je dirai seulement quelques mots également.

Verts de cuivre

Ce sont de très grands classiques de la céramique, cependant, on les trouve rarement dans le domaine des hautes températures : la terre vernissée et la faïence en font beaucoup plus usage que la porcelaine et le grès. Ruskin est une exception que j'ai découverte récemment, en voyant quelques reproductions de ses pièces, j'ai entrebâillé une grande porte sur des possibles que je ne soupçonnais pas, malheureusement, je n'ai pas travaillé ces glaçures avec toute l'énergie qu'elles mériteraient, aussi je m'en tiendrai à quelques considérations assez générales qui peuvent éventuellement constituer le point de départ d'une véritable recherche.

L'atmosphère de cuisson

Les verts s'obtiennent presque exclusivement en atmosphère oxydante, comme les rouges s'obtiennent en atmosphères réductrice, une exception cependant : dans les glaçures aux cendres de blé et de vigne mélangées, on obtient du vert également en réduction, si celle-ci n'est pas trop vigoureuse.

Les compositions développant les verts

Au cours des essais de cuivre dans différentes bases, on a pu voir que certaines compositions sont beaucoup plus favorables au vert que d'autres : dans l'ensemble les compositions contenant une grande proportion de calcium développent bien le vert. CG 26 et l'eutectique calcique donnent des verts assez purs. Dans des bases principalement magnésiennes, le vert est rare, il vaut mieux ajouter des alcalins au magnésium si on veut à la fois augmenter la fusibilité et la tendance à donner du vert. L'eutectique baryum développe un vert tirant un peu sur l'émeraude. Avec les glaçures purement alcalines auxquelles j'ai ajouté l'élément cuivre, je n'ai pas obtenu de verts satisfaisants : les diffé-

rents feldspaths seuls ne donnent que des gris-verts.

J'ai fait cuire tous mes rouges de cuivre en oxydation, ils donnent tous des verts pâles acceptables, lorsqu'ils contiennent du bore, la nuance devient plus bleutée, l'addition de quantités importantes d'oxyde d'étain ajoute un voile blanc à la glaçure.

Deux remarques concernant la composition des verts de cuivre s'imposent :

- Les calcium à forte concentration est nécessaire à l'obtention d'un bon nombre de verts à haute température. Ce calcium est également requis pour les noirs de cuivre, nous aurons donc très souvent la possibilité d'obtenir des verts mêlés de noir. Pour les obtenir ou les éviter, c'est sur le protocole de cuisson qu'il faudra jouer. Il me semble, mais ceci reste à vérifier sérieusement, que les plages noires se développent au refroidissement dans des solutions saturées en cuivre par un phénomène de précipitation / cristallisation.

- Si on compare les concentrations en bouillie bordelaise qui donnent un rouge et celles qui donnent un vert de densité comparable, on constate qu'il faut 10 fois moins de cuivre pour obtenir un rouge. Les verts de cuivre ne seront soutenus que si la concentration est au minimum de 4 % en bouillie bordelaise. Il faudrait vérifier que ce composé du cuivre est le plus adapté à la production des verts que les oxydes, carbonates et sulfates, ce qui est vrai pour du rouge ne l'est pas forcément pour du vert. Ceci laisse penser que le mécanisme de coloration n'est pas le même pour les différentes couleurs du cuivre : petites particules de cuivre métallique pour le rouge, dissolution ou précipitation de composés cuprique oxydés pour le vert et pour le noir ?

Si je devais conseiller deux verts parmi ceux qui ont été obtenus, je proposerais "l'eutectique baryum" à 8 % de bouillie pour un vert brillant, proche des verts de faïence et le GC 26 pour des verts mats.

Avant ces essais, j'avais réalisé des glaçures "à nucléations" blanches sur fond vert en superposant une sous couche contenant l'élément cuivre trouvée dans *La Revue de la Céramique et du Verre* sous la plume de C. Houtmann et un mélange de cendres de blé et de vigne. Le résultat est obtenu avec un refroidissement assez lent mais en l'absence de palier et il est important de travailler l'épaisseur relative des deux couches pour que l'effet "nucléations" se développe : la couche de cendres doit être assez mince, comparée à la sous-couche au cuivre. Voici des compositions des deux glaçures à superposer.

Sous-couche

Sous-couche						
Formule des oxydes		Na ₂ O	K ₂ O	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
% masse d'oxydes glaçure cuite		4,7	0,3	10,2	16,0	68,9
formule moléculaire tripartite		0,290	0,010	0,700	0,600	4,400
		1,000			0,600	4,400
Pourcentage molaire		4,83	0,17	11,67	10,00	73,33
Tension superficielle théorique				250,00	344,44	400,00
Coef. de dilatation théo. * 10 exp 7				50,00	55,26	100,00
Recette						
Feldspath de sodium	1mole Na ₂ O	0,289		0,052	0,347	2,191
Carbonate de calcium	CaCO ₃			0,648		0,006
Kaolin calciné	1 Mole alumine	0,001	0,010		0,254	0,551
Silice	SiO ₂					1,653
Bouillie bordelaise						20

glaçure : cendre de paille de blé 750g, cendre de vigne 250g

Ces recettes sont données à titre indicatif, la nature des cendres étant évidemment à



Détail d'un rouge de cuivre recuit dans un feu de plein-air

CONCLUSION

Ce fascicule devait traiter d'un grand nombre de glaçures colorées au cuivre, au chrome, au cobalt, au nickel.... Au fur et à mesure de l'avancée des travaux de vérification et d'écriture concernant le cuivre, j'ai compris que, pour cette année, cet élément suffirait. À présent, je me rends compte que le cuivre est un immense univers céramique à lui seul. Je n'ai pas parlé des célèbres *peaux de pêche* dont on trouvera des recettes, par exemple dans l'ouvrage de Tichane (p 46). Il aurait fallu travailler de manière plus approfondie les noirs, les jaunes et surtout les verts de cuivre : en réalité les seuls verts de haute température que j'ai produits avec un peu de bonheur sont ceux qui ont été réalisés avec des cendres de blé posées sur une sous-couche contenant de la bouillie bordelaise, j'ai obtenu des cristallisations proches des productions de Daniel de Montmollin. En regardant un détail d'une céramique populaire ancienne, j'ai vu que des verts denses, vibrants, durs et puissants sont possibles, je ne les ai pas trouvés...

J'envisage une suite, j'ai déjà un ensemble d'essais assez important sur les jaunes, bleus, verts, roses et gris de nickel, ainsi que sur ces mêmes couleurs produites par le chrome. Je ne m'engage en revanche ni sur les contenus de manière précise, ni sur la date de parution, ce sont des promesses trop difficiles à tenir à cause du long travail de mise en forme, mais aussi en raison des contraintes d'impression et de vente dues aux choix de production que j'ai faits.

Comme pour mes deux fascicules précédents, j'invite les lecteurs à me faire part de leurs critiques constructives, de leurs remarques, de leurs suggestions, aussi bien sur les méthodes proposées que sur la manière de présenter les recherches que j'ai effectuées, c'est grâce à ces éléments que je peux proposer un erratum et corriger les erreurs de toutes natures qui je ne manque pas de commettre ; c'est aussi grâce à ces remarques, propositions, suggestions que je pourrai améliorer le contenu du prochain ouvrage.

Plus je travaille seul, et plus il me semble que la mutualisation des moyens techniques serait une bonne réponse au manque de temps que nous éprouvons tous : passer plus de temps à rêver, à concevoir, à dessiner, à fabriquer de la céramique et consacrer moins de temps à mettre au point l'émail dont nous avons besoin. C'est une bouteille à la mer...

SÉLECTION D'OUVRAGES SUR LA CÉRAMIQUE

- * D'Albis Antoine, *La porcelaine artisanale*, Dessain et Tolra, 1979
- * D'Albis Antoine, *Faïences et pâtes tendres*, Dessain et Tolra, 1975
- * Collectif : Crick M., Espagnet F., *Rouge de cuivre peau de pêche, sang de boeuf, clair de lune*, Association des amis du Musée Bernard Palissy, Saint Avit, 2001
- * Collectif : Barber D., Franck F., Freestone I., Yusuke M., Tregear M., Wood N., Fukang Z., Pusheng Z., *Chinese Copper Red Wares*, Percival David Foundation, Rosemary E. Scott Editor, 1992
- * Collectif : Makus H., Bieri H., Dalpayrat A., Girel J., Strobel M., *Adrien Dalpayrat 1844-1910*, Arnoldsche, 1998
- * Daly Greg, *Glazes and glazing techniques*, A & C Black, 1995
- * Datcharry J., *Compréhension et maîtrise des glaçures, des fours et des cuissons*, Lasseube, 2002
- * Deschamps Max, *Etude d'un émail particulier : le rouge de cuivre*, la Revue de la Céramique N°1, octobre / novembre 1981
- * Dunand Frank, *Collections Baur Genève*, Musées Suisses , 1997
- * Hamer F. & J., *The Potter's Dictionary of materials and techniques*, A & C Black, London, 1997
- * Jouenne C-A, *Traité de céramique et de matériaux minéraux*, Septima, 1990
- * Lambercy E, *Les matières premières et leur transformation par le feu*, Argile, 1993
- * Leach Bernard, *Le livre du potier*, Dessain et Tolra, 1973
- * Li Zhiyan et Cheng Wen, *La céramique Chinoise*, Editions en langues étrangères, Pékin, 1984
- * Matthes W-E, *Keramische Glasuren* Augustus Verlag, 1990
- * Matthes W-E, *Émaux et glaçures céramiques*, Eyrolles, 2002
- * De Montmollin Daniel, *Pratique des émaux de grès*, La Revue de la Céramique et du Verre, 1987
- * Noël Philippe, *Le calcul des glaçures*, Les éditions techniques et artistiques, Paris, 1980
- * Rhodes Daniel, *Terres et glaçures*, Dessain et Tolra, 1974
- * Save Colette, *Le secret du rouge chinois*, p. 10 à 13, L'atelier des métiers d'art N°1 sept. 1975
- * Severijns Hein, *ABC... de l'émaillage*, World Crafts Council-Belgique Francophone, asbl, Haine-Saint-Pierre, Belgique, 1998

- * Sotheby's, *The Albert E. Wade Collection Part II*, Olympia London, 8 november 2002.
(Ruskin Pottery)
- * Tichane R., *Copper Red Glazes*, Krause Publications, 1998
- * Uzan Marc, *Les glaçures céramiques, méthodes de recherche*, La Revue de la Céramique et du Verre, 2002
- * Valtat Alain, *Introduction à une pratique expérimentale des glaçures 1250-1320°C généralités*, Auxerre, 2001
- * Valtat Alain, *L'élément fer dans les glaçures 1250-1320°C*, Auxerre, 2003
- * Van Lith Jean-Paul, *Céramique dictionnaire encyclopédique*, Les éditions de l'Amateur, 2000
- * Wood Nigel, *Chinese glazes*, A & C Black, 1999

**On pourra se procurer la plupart de ces ouvrages auprès de
www.ceramique.com Tel : 04 66 22 58 70**

QUELQUES SITES INTERNET CONSACRÉS À LA CÉRAMIQUE

- * <http://www.ceramique.com/>
- * <http://perso.wanadoo.fr/smart2000/>
- * <http://perso.wanadoo.fr/shufu/> (site de l'auteur)

