



HAL
open science

Application de l'imagerie couleur au contrôle qualité en microscopie

Dominique Lafon-Pham

► **To cite this version:**

Dominique Lafon-Pham. Application de l'imagerie couleur au contrôle qualité en microscopie. Journée technique "Apport de la vision industrielle au contrôle qualité", May 2001, Toulouse, France. <hal-04617103>

HAL Id: hal-04617103

<https://imt-mines-ales.hal.science/hal-04617103v1>

Submitted on 28 Aug 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

APPLICATION DE L'IMAGERIE COULEUR AU CONTROLE QUALITE EN MICROSCOPIE

D. Lafon - CMGD - Ecole des Mines d'Alès – Hélioparc- 2, av. P. Angot - 64053 Pau cedex 9

L'imagerie couleur est une technique applicable dans le contrôle qualité des matériaux en microscopie optique. Elle permet en effet d'utiliser les propriétés optiques des matériaux comme marqueur d'une phase ou bien d'un état. Comme dans tout processus d'observation/quantification, l'étape préliminaire de mise au point du protocole de préparation des produits à observer et d'acquisition des images est primordiale ; elle permet un ajustement entre mode de préparation et mode d'acquisition des images (caractéristiques de la surface observée, caractéristiques du capteur utilisé , conditions d'observation).

L'exemple présenté est tiré d'une étude réalisée à la demande et avec le concours d' Italcementi. Le but était de mettre au point un protocole de préparation des échantillons de clinker, d'acquisition et de traitement d'images couleur permettant l'automatisation de l'évaluation de la composition de ce clinker.

La démarche adoptée est basée sur l'utilisation via l'analyse d'images des caractéristiques colorimétriques des différentes phases minérales du clinker, ces dernières étant induites durant l'étape de préparation/attaque des échantillons pour observation microscopique.

1 Préparation des échantillons – acquisition d'images couleur

Le ciment est fabriqué par cuisson à haute température d'un mélange de matières premières minérales. A la sortie des fours on obtient un produit dénommé clinker qui sera ensuite broyé et additionné de divers constituants pour donner le ciment.

Le clinker contient quatre constituants minéraux principaux : l'alite, la bélite et la phase dite interstitielle constituée d'aluminate tricalcique et d'alumino-ferrite tétracalcique. Il est très important pour le cimentier de connaître la composition minéralogique du clinker. Cette opération était auparavant réalisée par comptage de points à partir d'observations de sections polies de clinker au microscope optique.

L'outil attendu par l'entreprise devait être simple d'utilisation et permettre l'intervention d'un « non spécialiste » lors de l'étape de segmentation sur l'image des différentes phases minérales. Il devait également être très « robuste » c'est à dire utilisable sur tout type de clinker et opérationnel en cas de petites variations d'aspect induites lors de la préparation des échantillons (processus de préparation non strictement reproductible). D'autre part la caractérisation de la composition devait se faire par mesure de surfaces et pas par comptage de cristaux.

1 – 1 Préparation des échantillons

Dans le clinker, les cristaux de même nature sont souvent jointifs ; les joints de grain sont difficilement discernables ; On observe des inclusions de bélite dans certains cristaux d'alite. Toutes ces constatations nous ont conduit à privilégier les critères colorimétriques par rapport aux critères de forme dans l'étape de segmentation des différentes phases minérales.

Une étude préliminaire a permis de déterminer le mode d'attaque à employer pour révéler les différentes phases minérales constituant le clinker. Le but était d'obtenir une coloration compatible avec une caractérisation automatique via l'analyse d'images couleur.

Après divers essais d'attaque acide la solution suivante a été retenue : les sections polies à analyser sont attaquées à l'acide fluorhydrique sous forme vapeur. Les différentes colorations obtenues se distinguent nettement à l'œil (cf. Fig. 1) . Replacées dans une représentation colorimétrique classique de type Lab [1], les couleurs obtenues pour chaque phase minérale sont nettement distinctes (cf. Fig. 2).

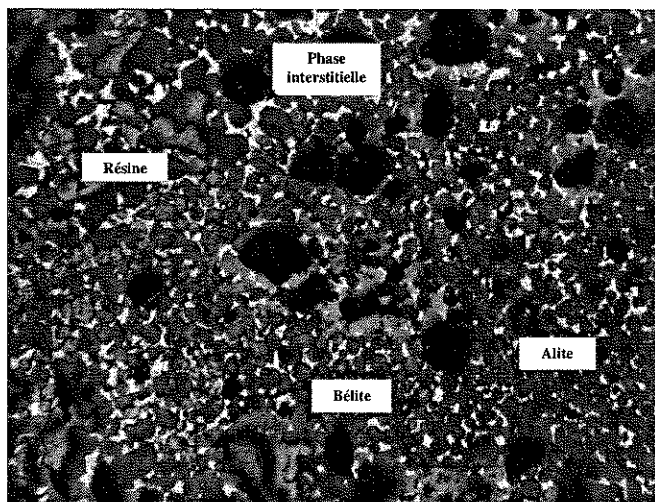


Figure 1 : Exemple de surface attaquée à l'acide fluorhydrique

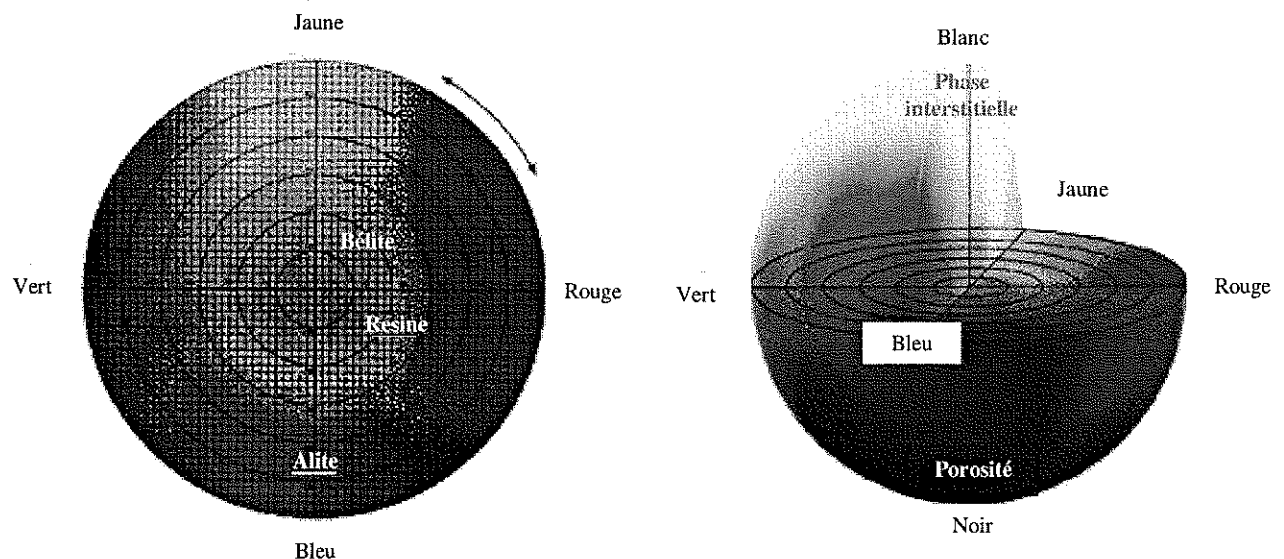


Figure 2 Position dans l'espace couleur Lab des différents constituants observables sur section polie de clinker

1 – 2 Modalités d'acquisition

L'étape d'acquisition doit produire des images numériques sur lesquelles peut s'appliquer un processus de segmentation des différentes phases minérales aussi automatique que possible. Il est important que l'utilisateur final non formé au traitement d'images couleur puisse agir sur l'outil au moment de la segmentation : l'interface doit donc proposer des choix et des ajustements compréhensibles c'est à dire retranscrivant directement l'appréciation visuelle en termes de couleurs.

Les deux points clef de l'acquisition d'images sont la maîtrise de l'outil d'observation (le microscope optique) et du système d'acquisition d'images. Il faut obtenir la reproductibilité en fin de chaîne c'est à dire des images comparables indépendamment de la période d'acquisition. Un protocole de réglage de la chaîne d'acquisition a été établi [2]. Les points de contrôle portent sur le gain caméra, la balance des blancs de la caméra et l'éclairage de la scène via le microscope. Le réglage se fait à partir d'un « blanc » (pastille de dioxyde de titane). Par réglages successifs l'opérateur atteint un optimum c'est à dire une image numérique avec une dynamique correcte et un niveau de bruit minimum (cf. fig. 3).

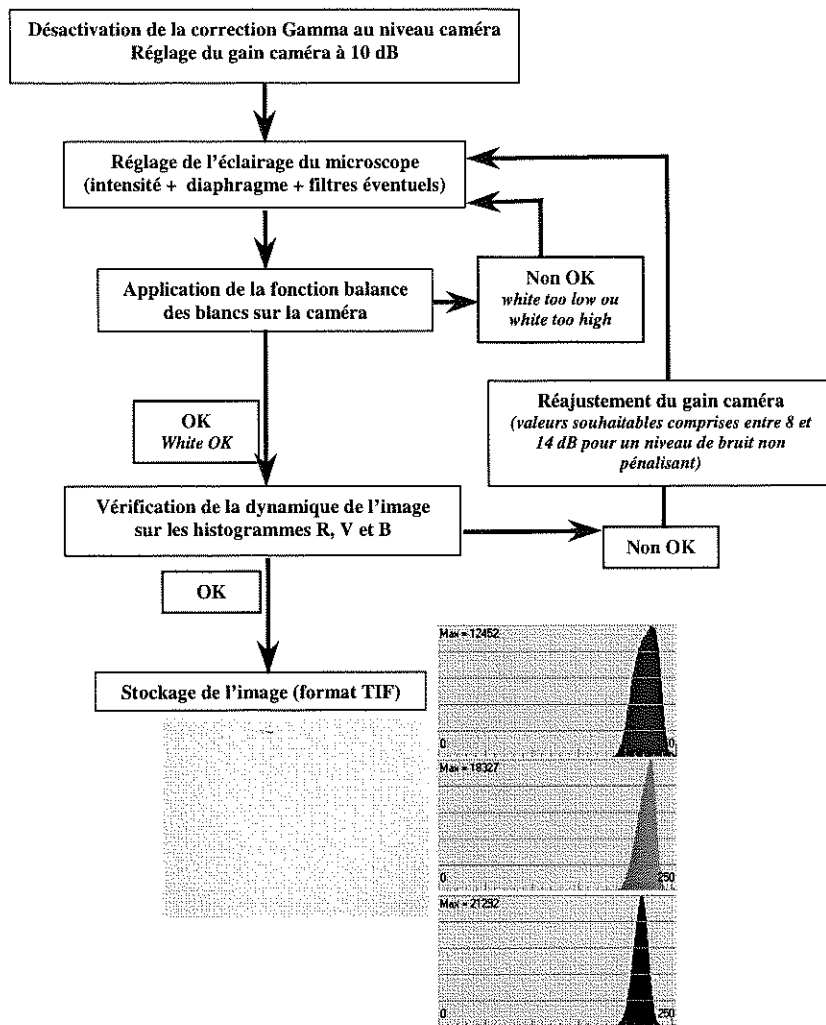


Figure 3 Mode opératoire pour le réglage de la chaîne d'acquisition – image optimale d'un « blanc » obtenue

2 Protocole de quantification des teneurs en alite, bélite et phase interstitielle

Les différentes phases minérales observables après attaque à l'acide fluorhydrique sont décrites par un observateur comme suit :

- Alite bleue tirant sur le violet dans certains cas
- Bélite marron plus ou moins foncé
- Phase interstitielle blanc crème

Ces trois couleurs ne peuvent pas être décrites simplement au travers d'un codage en (Rouge, Vert, Bleu). Mettre au point une méthode semi-automatique d'extraction de phases à partir d'une image RVB n'a pas semblé être la solution adaptée au problème posé :

- D'une part les algorithmes à mettre en œuvre auraient été très sensibles aux inévitables variations liées à l'acquisition ; l'espace (R, V, B) de représentation de la couleur n'est pas utilisable de façon simple lorsque l'on veut rendre compte de variations de teintes ; ceci est d'autant plus vrai lorsque l'on observe des couleurs non spectrales.
- D'autre part, le but de l'étude était de fournir un outil aisément utilisable par toute personne non-spécialiste de l'analyse d'image et de la couleur. Il fallait pour cela concevoir un système dans lequel toute décision de l'utilisateur devait correspondre à son appréciation visuelle.

Nous avons donc fait le choix de calibrer colorimétriquement le système d'acquisition et d'utiliser pour le codage des images un espace de représentation des couleurs de type Lab. La figure 4 présente le résultat de ce type de codage.

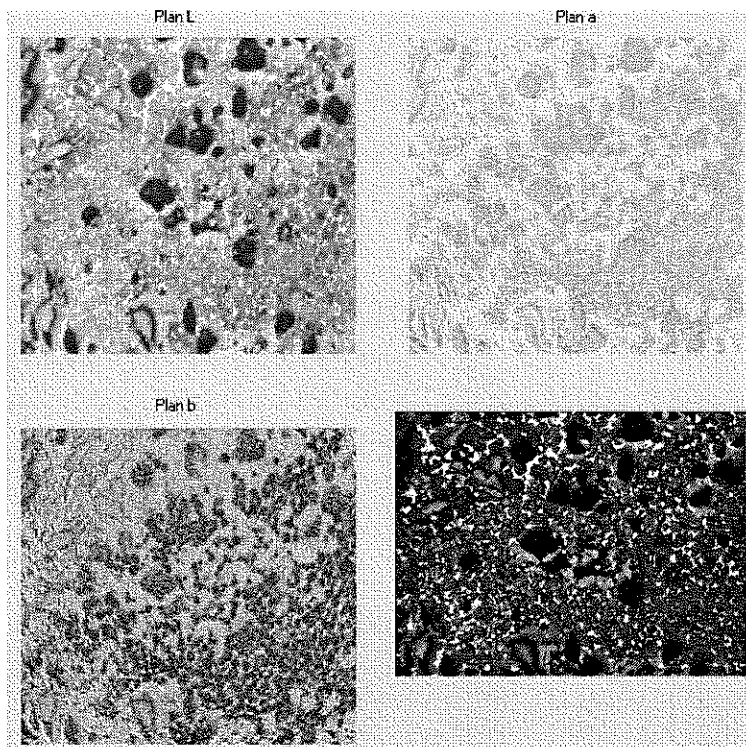


Figure 4 Représentation des plans L, a et b obtenus par calibrage colorimétrique du système d'acquisition

Les différentes phases minérales colorées sont bien distinctes dans le système de représentation Lab :

- La phase interstitielle est identifiable de façon non ambiguë sur le plan L : elle est représentée par les zones les plus claires.
- La porosité est, elle aussi, identifiable sur le plan L sous forme de zones sombres. Il existe cependant une ambiguïté entre certaines zones de la résine et la porosité elle-même. Ce problème ne peut être résolu par une utilisation des informations contenues dans les plans a et b pour lesquels les deux types de zones ne sont pas distincts.
- L'alite (bleu violacé) est bien visible sur le plan b. On constate cependant que la porosité est, elle aussi, marquée sur ce plan par des zones sombres.
- La bélite (marron) est bien visible sur le plan a sous forme de zones plus sombres. On constate cependant que la porosité est marquée par la même gamme de valeurs de gris.

L'algorithme d'extraction des phases minérales, basé sur ces constatations est présenté dans la figure 5.

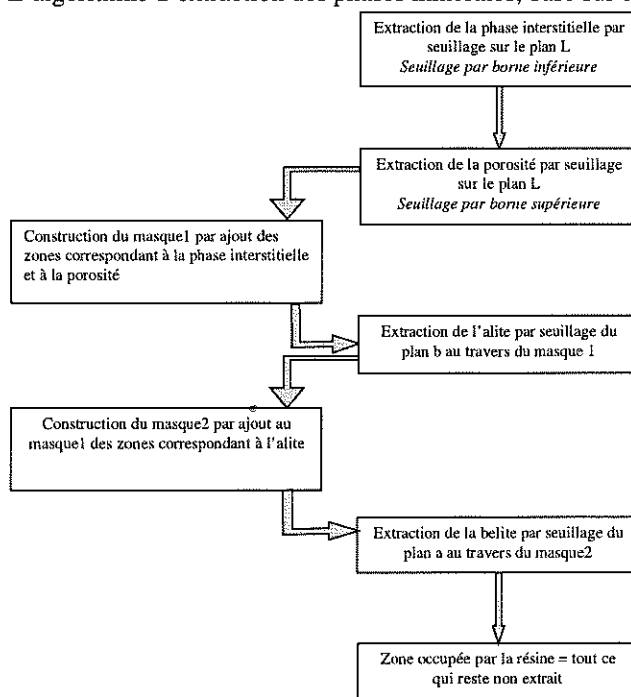


Figure 5 Algorithme d'extraction des différentes phases du clinker

Des opérations de filtrage permettent d'éliminer à chaque étape de la segmentation les artéfacts de petite taille.

L'interface utilisateur permet de modifier et de valider les différents niveaux de seuil proposés par défaut en faisant référence à l'évaluation sensorielle de la qualité du résultat. Pour chaque phase à extraire l'utilisateur n'a à choisir de façon interactive qu'une seule valeur.

La figure 6 présente deux exemples de résultats obtenus sur une section polie. On constate que malgré une variation notable dans les conditions d'observation l'algorithme réalise une extraction correcte des phases ; les valeurs L_a et b de chaque phase minérale sont bien ramenées par le processus de calibrage à une zone constante de l'espace couleur choisi. Le problème non résolu par l'approche couleur est celui de la confusion entre zones sombres de la résine et porosité. La solution adoptée vis à vis de ce problème est pragmatique : l'opérateur positionne la section polie sous le microscope de façon à avoir dans le champ observé un minimum de résine.

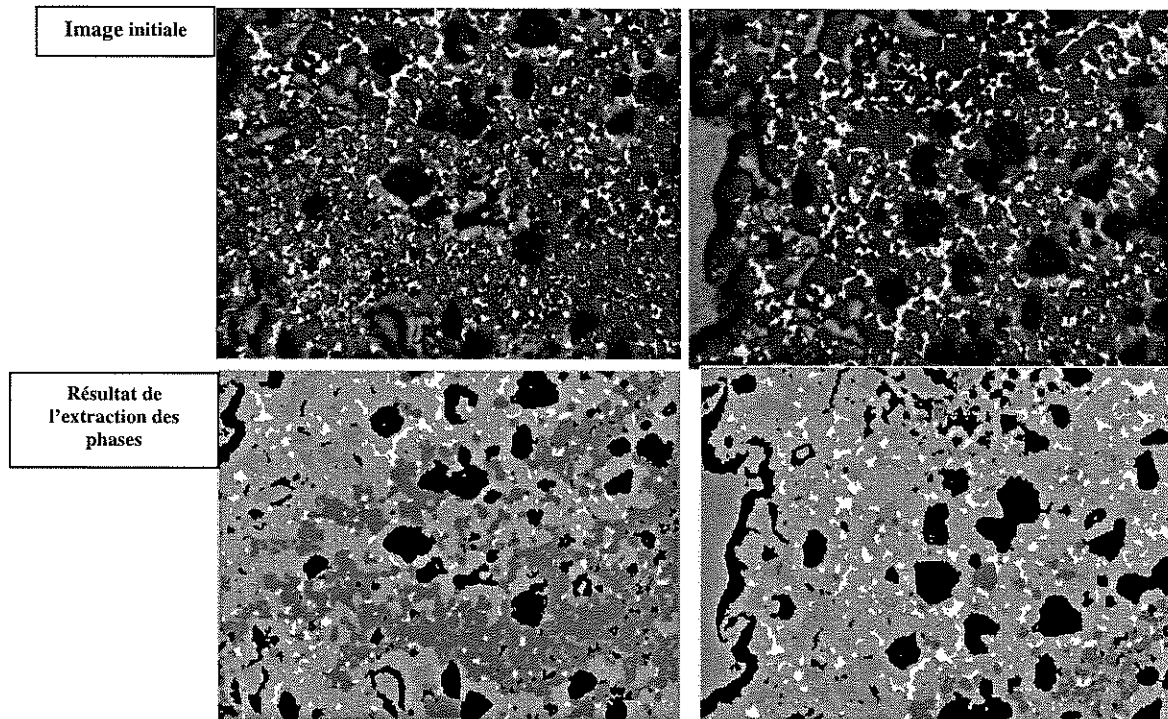


Figure 6 Résultat de l'extraction des phases sur deux sections polies (la présence de résine en grande quantité sur la section polie de droite induit une erreur non négligeable dans l'extraction de la porosité)

L'évaluation de la composition du clinker se fait sur les images segmentées par simple comptage de point.

Le protocole mis au point a été testé dans le laboratoire de l'entreprise et confronté aux résultats obtenus par comptage manuel. Une différence n'excédant pas 2 % entre résultats « manuels » et résultats sur images couleur a été observée. Elle est imputable d'une part aux petites imprécisions dans l'extraction semi automatique des phases et d'autre part à la reconnaissance sur les images des noyaux de bélite observables au centre de certains cristaux de alite (le comptage manuel ne tient pas compte de ce phénomène).

Conclusions et perspectives

L'imagerie couleur en microscopie optique est une technique de caractérisation intéressante. Elle permet de disposer d'un marqueur plus proche de l'appréciation du microscopiste pour ce qui concerne la reconnaissance de phase ; elle rend également possible l'utilisation de la couleur comme propriété mesurable et pouvant indiquer l'état de la matière (structure cristalline, état de surface ...).

La mise au point d'un protocole de caractérisation via l'imagerie couleur se base sur une maîtrise du système d'observation/acquisition/codage ; En particulier, pour chaque application une réflexion préalable est à mener sur la définition de ce qui caractérise la plus ou moins bonne qualité d'une image couleur c'est à dire son aptitude plus ou moins grande à représenter de façon explicite l'information pertinente.

Que l'approche soit ou non colorimétrique, la reproductibilité de la mesure au travers de l'outil que constitue le système d'acquisition est également à garantir. On peut constater que certains matériels d'acquisition d'images couleur prennent maintenant en compte cette préoccupation métrologique.

Les développements actuels concernant la représentation numérique de la couleur, ouvrent la voie à de nouvelles applications en contrôle par vision. Certains systèmes de représentation de la couleur prennent en compte l'ensemble des éléments conduisant à une interprétation de la scène par l'observateur ; Ainsi des travaux récents ont permis de mettre au point un modèle d'apparence colorée dénommé CIECAM97s et liant les caractéristiques colorimétriques d'un objet à la sensation produite dans différentes conditions d'observation [3]. Ce dernier est basé sur l'utilisation d'un système de primaires traduisant l'activité réelle des cônes ; il s'ajuste en fonction du contexte de prise de vue et en particulier de l'éclairage et des effets d'adaptation liés aux caractéristiques colorimétriques de l'environnement immédiat et plus éloigné de l'objet observé (placé au centre du champ de vision).

Les étapes de traitement et de segmentation de l'image couleur, préalable indispensable à toute tâche d'interprétation d'image, reposent entre autre sur la mise en place d'une métrique des différences de couleur. Que l'approche choisie soit marginale (traitement séparé des trois plans couleur) ou vectorielle, la plus ou moins grande facilité à détecter des régions ou des frontières dépendra fortement de l'espace couleur utilisé.

[1] Commission internationale de l'Eclairage, 1986. Colorimetry. Technical report, CIE publication N°15.2 - Vienna

[2] Ph. Laflaquière, D. Lafon, O. Eterradosi, P. Slangen, 1998. Characterization of color texture - CIEL*a*b* calibration of CCD device, International Symposium on Electronic Image capture and Publishing, Europto Series 98, communication n° 3409-20. Zurich 18-20 May 1998.

[3] Commission internationale de l'Eclairage, 1998. The CIE Interim Color Appearance Model CIECAMs, CIE publication N°131 - Vienna.