

MODELISATION DE LA COULEUR DES SOLS PAR TELEDETECTION

D Courault*, M-C Girard* & R Escadafal**

*Laboratoire de Pédologie

**Atelier de Télédétection, ORSTOM

I.N.A. P-G., 78850 THIVERVAL-GRIGNON 70 Route d'Aulnay, 93140 BONDY

ABSTRACT

84 very different soil samples were characterized in the laboratory with:
-reflectance curves from 350 to 2000 nm recorded with a DK2 Beckmann spectrophotometer

-physical and chemical analysis
-colour from Munsell soil chart.
Different types of curves shapes were related to the main constituents of the studied samples.

Using colorimetric concepts, soil spectral characteristics were modelled from Munsell colour.

It has been shown that the reflectance curve of a soil sample could be predicted from converting its Munsell coordinates into the trichromatic system RGB.

The low occurrence of metarism for soils allow to invert the relation between spectral reflectance and colour.

et la couleur mesurée sur le terrain. Nous avons utilisé un modèle qui établit les relations entre courbe de réflectance et couleur du sol, en nous basant sur des éléments de colorimétrie.

I. MATERIELS ET METHODES

1. Caractérisation des échantillons

Cette étude a porté sur 84 échantillons de sols d'origines très variées : andosols du Mexique, rendzines sur îlots corailliens de Tahiti, sols ferrallitiques, sols bruns calcaires de l'Orléanais, podzols...

Les couleurs ont été notées d'après la charte Munsell par le même observateur sous lumière du jour constante et en s'orientant au nord. (MELVILLE M.D. et ATKINSON G., 1985).

Les teintes varient de 5YR à 2.5Y. Chaque échantillon a été soumis à des analyses physiques (granulométrie) et chimiques (MO, Fe libre et Fe total, CaCO₃). (fig.1).

INTRODUCTION

La couleur est un des critères importants lors de la description d'un sol. Sur le terrain, on utilise la charte Munsell ou des référentiels (pédocomparateur) pour comparer les différents horizons pédologiques rencontrés.

La couleur est une variable synthétique qui exprime un ensemble de propriétés du sol : ainsi une terre rouge indiquera une forte teneur en fer, une terre noire une teneur élevée en matière organique (KARMANOV I.I., 1970)

La réflectance des sols résulte directement de leur composition et de leur couleur. Elle varie suivant les diverses combinaisons entre les principaux paramètres de surface tels que : la matière organique (MO), le fer (Fe) et le calcaire (CaCO₃); elle varie aussi en fonction de l'humidité. (TORRENT J., 1983, PROST R. et KING C., 1983).

Ce sont précisément à ces propriétés auxquelles nous nous sommes intéressés, en essayant de montrer les corrélations entre les réponses spectrales mesurées au laboratoire sur des échantillons de sols

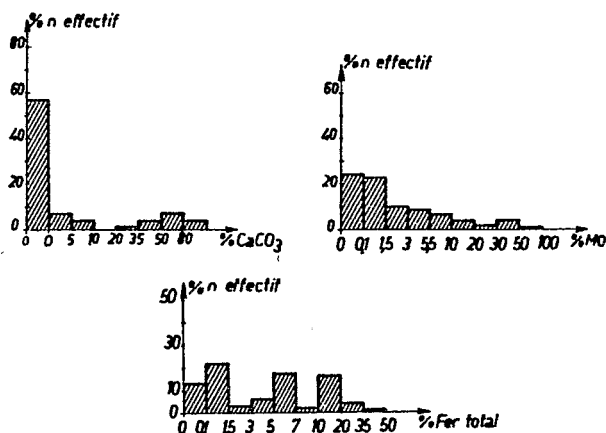


Fig.1 . Classification des principaux constituants des 84 échantillons.

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° :

Cote : B 25637

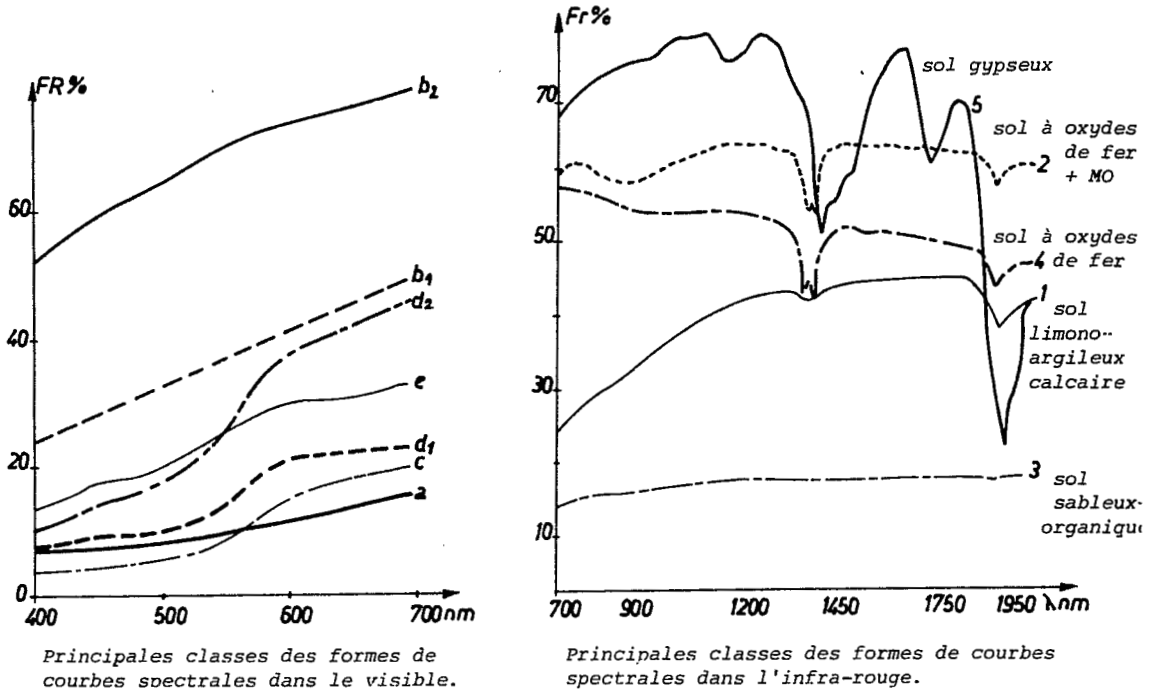


Fig.2. Les formes des courbes spectrales

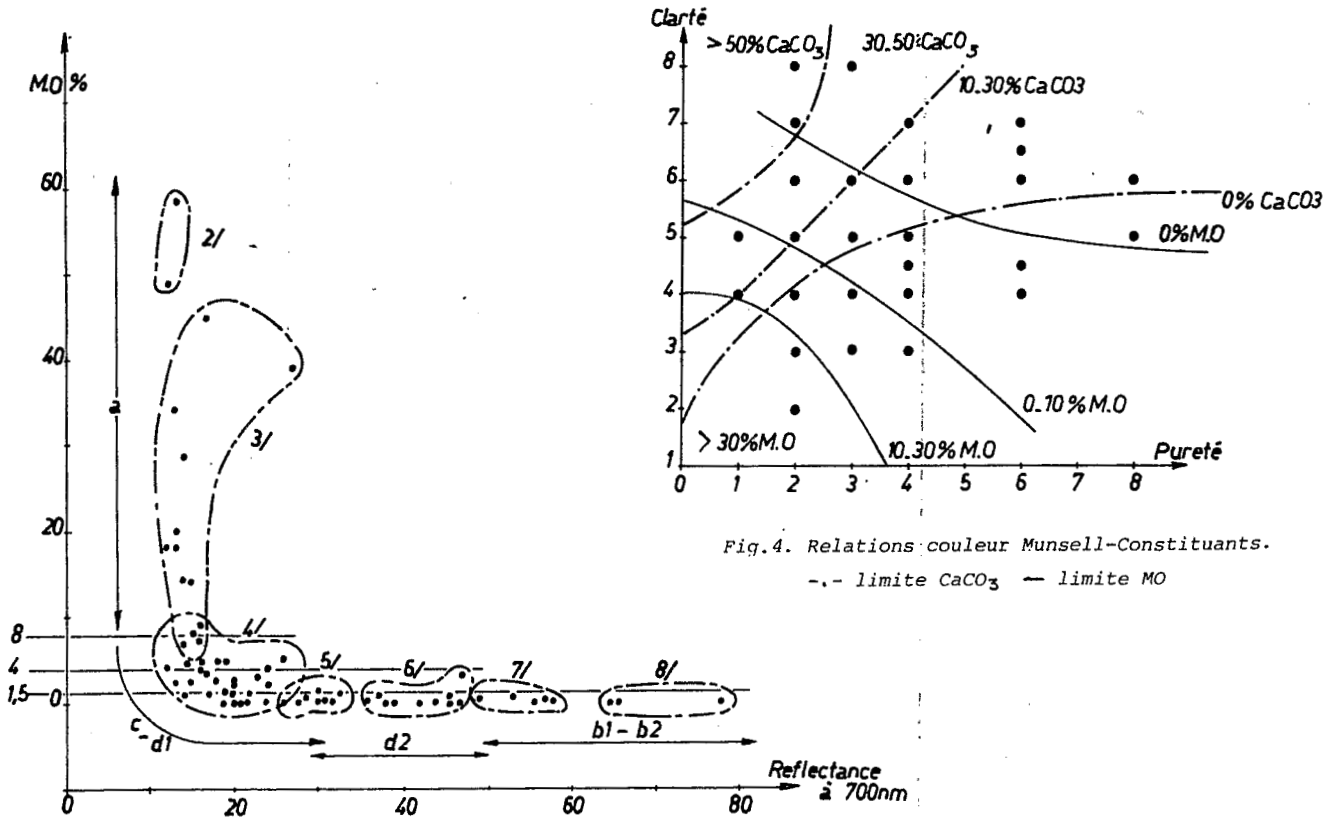


Fig.4. Relations couleur Munsell-Constituants.

--- limite CaCO₃ — limite M.O

Fig.3. Relations entre la teneur en matière organique

et la réflectance.

-- : les ensembles entourés représentent des classes de clarté Munsell: 2/, 3/, 4/, 5/, 6/, 7/, 8/

a, b1-b2, c, d1, d2, e: formes de courbes dans le visible.

La plupart des situations les plus couramment rencontrées dans la nature sont représentées.

Les échantillons séchés à l'air puis tamisés à 2 mm sont passés au spectrophotomètre DK2 de Beckmann afin d'obtenir des courbes de réflectance de 350 à 2000 nm. Les courbes observées sont discontinues entre le visible et l'infrarouge, car le spectrophotomètre fonctionne avec des cellules différentes entre ces deux domaines. Il faut donc recalibrer l'appareil entre 750 et 800 nm, ceci explique le décalage souvent observé entre les courbes de réflectance d'un même échantillon de sol.

2. Analyses des courbes de réflectance

Une étude des différentes formes de courbes rencontrées a été faite. Les corrélations entre la réflectance et les principaux constituants ont été abordés, notamment à l'aide des traitements statistiques (ACP, régression..).

3. Modélisation des relations entre les propriétés spectrales et la couleur des sols

On a essayé d'effectuer le passage : courbe de réflectance couleur Munsell, en utilisant quelques principes de base de la colorimétrie. On a estimé les corrélations entre couleur calculée et couleur observée sur le terrain.

II. RESULTATS

1. Caractéristiques des échantillons

Une analyse en composantes principales entre les principaux constituants : MO, Fe, CaCO₃ et la couleur Munsell fait apparaître que :

- les trois constituants sont bien décorrelés et forment les axes principaux
- la clarté est corrélée positivement avec le calcaire et négativement avec la matière organique et le fer.
- la pureté et la teinte semblent plus liées à la teneur en matière organique qu'aux autres paramètres, mais les corrélations sont relativement faibles. (tab.1).

2. L'étude des formes des courbes de réflectance

Une première remarque concerne la forme des courbes dans le domaine du visible (350-750 nm). Elles sont toujours croissantes et régulières avec parfois une inflexion plus ou moins marquée à 550 nm.

CONDIT H.R. en 1970, a distingué 3 grands types de courbes entre 320 et 1000 nm sur une série de 285 échantillons. STONER E.R et BAUMGARDNER M., en 1981, ont différencié 5 types de courbes entre 500 et 2300 nm sur 500 échantillons environ.

Pour notre série, nous avons distingué 7 classes de courbes dans le visible et 5 dans l'infrarouge.

-dans le visible, les distinctions ont été faites essentiellement en fonction des variations de pente. Dans un premier temps, une analyse visuelle des différentes formes de courbes observées a permis une première classification, dans un second temps, on a recherché une modélisation des courbes par des équations mathématiques. Ces résultats sont encore à expérimenter.

-Dans l'infrarouge, ce sont les bandes d'absorption plus ou moins marquées de l'eau (1450-1950 nm), du fer (870 nm) ou du gypse (groupement OH: 1250-1750 nm) qui ont guidé notre sélection.

Nous avons calculé pour chaque classe la moyenne et le coefficient de variation des principaux constituants des éléments compris dans cette classe. (.fig .2.tab.2)

-La classe a : courbe concave croissante correspond au type 1 de CONDIT, elle indique des teneurs en matière organique et en fer élevées. (forte absorption dans le bleu et le vert).

-les classes b1 et b2 correspondent au type 2 de CONDIT, il n'y pas de phénomène d'absorption, les teneurs en calcaire sont fortes.

-les classes c, d1, d2, e, correspondent au type 3. Le fer est plus ou moins important ou dominant par rapport à la matière organique.

Certaines longueurs d'onde sont liées plus spécifiquement aux constituants. Ainsi, nous avons pu mettre en évidence une relation de type hyperbolique entre la réflectance à 700 nm et la teneur en matière organique. (fig.3).

Les relations entre la clarté et la matière organique sont mises en évidence par la figure 3: les courbes concaves correspondent bien aux échantillons les plus sombres (clarté < 3), les convexes aux sols les plus clairs (> 6), les courbes concavo-convexes aux intermédiaires (clarté 4-5-6). En composant les différentes clartés et puretés Munsell, on obtient une partition de la matière organique et du calcaire en fonction des deux axes qui s'opposent. (fig.4).

La modélisation de ces relations constituants-réponses spectrales a été étudié en utilisant le modèle DIMITRI (GIRARD M-C., 1983). Les résultats sont en cours de publication.

3. Modélisation des relations entre les propriétés spectrales et la couleur des sols

3.1. Bref rappel sur le principe de la charte Munsell et quelques éléments en colorimétrie

Le système Munsell caractérise les couleurs en distinguant la teinte (hue), la clarté (value), et la pureté (chroma) qui exprime la saturation de la couleur.

L'ensemble des teintes se répartit sur un cercle (pour les sols, une partie seulement du cercle est utilisée: 10R-5GY); l'axe achromatique représente les clartés qui varient de 2.5 à 8. Il s'agit d'un système caractérisé par des coordonnées cylindriques. (fig.5.).

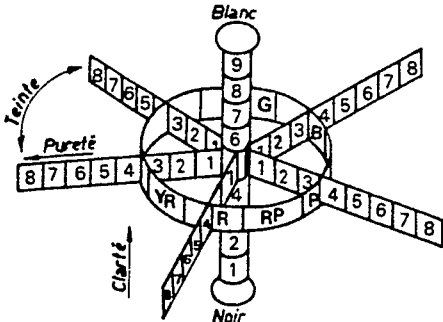


Fig.5. L'espace des couleurs Munsell et ses coordonnées cylindriques.

Les lois de la colorimétrie montrent que chaque couleur peut être reproduite par un mélange de trois autres lumières colorées indépendantes (dites primaires), le rouge (R:700 nm), le vert (G:546 nm) et le bleu (B:436 nm). Une couleur C quelconque peut donc s'écrire:

$$\vec{C} = r\vec{R} + g\vec{G} + b\vec{B} \quad (1)$$

où r, g, b sont les coordonnées trichromatiques. Lorsque r=g=b=1, on obtient la couleur blanche W. La droite qui relie l'origine à ce point W correspond à l'axe achromatique. (fig.6)

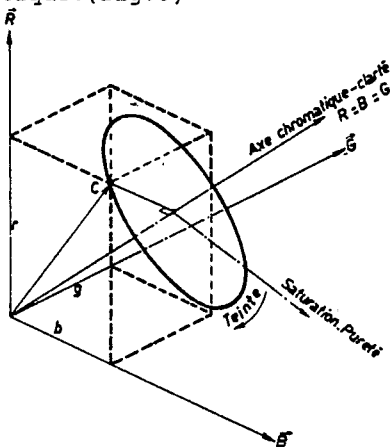


Fig.6. Le système Munsell dans l'espace RGB
R:composante rouge, G:composante verte
B:composante bleue.

La géométrie de l'espace RGB et celle de l'espace Munsell ne sont pas les mêmes, il ne suffit donc pas d'un simple changement de repère pour passer du système Cylindrique Munsell au système RGB.

Le système RGB présente l'inconvénient d'utiliser des valeurs négatives. Pour simplifier ces notations, un changement de repère définit les composantes trichromatiques XYZ (système CIE, 1931)

$$\begin{aligned} X &= 2.76 R + 1.75 G + 1.13 B \\ Y &= R + 4.59 G + 5.59 B \\ Z &= 0.05 G + 5.59 B \end{aligned} \quad (2)$$

Y correspond à la luminance.

3.2. Calcul de la couleur d'après les courbes de réflectance:

Selon les lois de la colorimétrie, il est possible de calculer la sensation colorée produite par un objet de réflectance C(λ) comme suit:

$$\begin{aligned} X &= K \int_{380}^{770} C(\lambda) \cdot h(\lambda) \cdot x(\lambda) \cdot d\lambda \\ Y &= K \int_{380}^{770} C(\lambda) \cdot H(\lambda) \cdot y(\lambda) \cdot d\lambda \\ Z &= K \int_{380}^{770} C(\lambda) \cdot H(\lambda) \cdot z(\lambda) \cdot d\lambda \end{aligned} \quad (3)$$

C(λ) réflectance spectrale, H(λ): flux lumineux

Il existe des tables pour convertir les coordonnées trichromatiques x, y, z en notations Munsell (basée sur un éclairage de type illuminant C, lumière du jour. (WISZECKI et STILES, 1982). Inversement, en partant de la couleur Munsell relevée sur terrain, on peut déterminer les coordonnées X, Y, Z correspondantes sur ces tables de conversion. On les transforme en RGB. On compare les valeurs de RGB calculées à partir de la courbe spectrale et les valeurs RGB observées à partir des couleurs Munsell. Une droite de régression pour le vert (G) est représentée sur la figure 7.

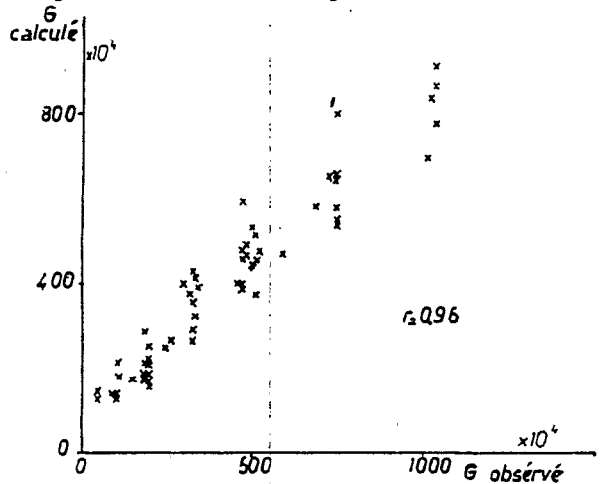


Fig.7. Correlations entre G observé et G calculé. Les coefficients de corrélations élevés (pour le rouge (R), r=0.96, pour le vert (G) r=0.96), pour le bleu (B), r= 0.94) montrent qu'à partir d'une courbe de réflectance d'un sol donné, on peut retrouver assez précisément sa couleur Munsell.

3.3. Inversion du modèle: hypothèse de l'absence de métamérisme dans les sols.

Le paragraphe précédent a montré qu'à partir d'une courbe spectrale d'un sol, on peut retrouver assez précisément sa couleur Munsell. Est-ce que l'inverse peut être vérifié, autrement dit, peut-on prévoir le comportement d'un échantillon de sol dont on connaît la couleur Munsell?

Le phénomène de métamérisme interdit théoriquement ce passage, puisque ce terme désigne le fait que des objets de propriétés spectrales différentes peuvent produire la même sensation colorée. (exemple: le vert peut être obtenu par la bande spectrale monochromatique du vert ou par la combinaison des deux bandes spectrales jaune et bleue). Lorsque ce phénomène se produit, les courbes de réflectance des objets dont les couleurs sont métamères doivent s'entrecoiser au moins 3 à 5 fois. (OTHA et WISZECKI.1977).

Or, on a constaté que pour les sols, toutes les courbes de réflectance observées, monotones et croissantes, dans le visible ne se recoupent que deux fois au maximum.

On en déduit donc que le phénomène de métamérisme dans les sols est peu probable, et qu'à une couleur donnée, on peut associer une courbe spectrale.

Pour tester cette hypothèse, on a calculé les corrélations multiples entre la couleur RGB observée et la réflectance $Re(\lambda)$ aux différentes longueurs d'onde suivant le modèle:

$$Re(\lambda) = a_{\lambda}R + b_{\lambda}G + c_{\lambda}B + d_{\lambda} \quad (4)$$

On a choisi des longueurs d'ondes variant de 350 à 750 nm avec un intervalle tous les 50 nm. Les coefficients de corrélations variant de 0.985 à 0.99 montrent qu'il est possible de reconstruire la courbe spectrale à partir des valeurs RGB calculées. (fig.8) (ESCADAFAL R., GIRARD M-C., COURAULT D.1988).

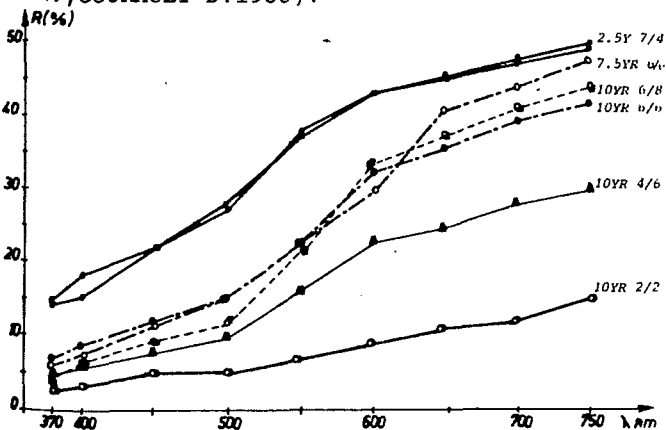


Fig.8. Courbes de réflectance observées et courbes de réflectance calculées.
o valeurs observées • valeurs calculées

DISCUSSION-CONCLUSION

A partir des courbes de réflectance obtenues au laboratoire avec le spectrophotomètre, il est possible de calculer les couleurs Munsell d'échantillons de sols, sous un éclairage donné, et en se basant sur les lois de la colorimétrie. La relation entre la couleur observée et la couleur calculée (avec tables de conversion) est très

satisfaisante. Grâce à la fréquence négligeable du métamérisme dans les sols, nous avons élaboré un modèle basé sur des corrélations linéaires multiples entre les réflectances et les composantes trichromatiques RGB. Ce modèle permet de prévoir les réponses spectrales des sols étudiés.

Ce travail montre que la couleur des sols est une information utilisable pour estimer le comportement spectral des sols dans le domaine du visible. On pourra donc appliquer directement ces relations en télédétection, en cartographie notamment dans les régions arides où la couleur des sols est un bon critère de discrimination pour les sols.

REFERENCES

CONDIT H.R.-1970-The spectral reflectance of american soils. Photogramm. Eng.; 36, p 955-966

ESCADAFAL R., GIRARD M-C., COURAULT D.-1988-La couleur des sols: appréciation, mesure et relations avec les propriétés spectrales. Agronomie (sous presse).

GIRARD M-C.-1983-: Recherche d'une modélisation en vue d'une représentation pédologique. Application à une région des plateaux jurassiques de Bourgogne. Thèse d'état INA P-G. revue Sols 12, 430 p.

KARMANOV I.I.-1970- Study of soils from the spectral composition of reflected radiation. Soviet Journ. soils sc.; 2p 226-238.

FERNANDEZ R.N., SCHULZ D.G.-1987 - Calculation of soil color from reflectance spectra. Soils sc. Am. J., 51, p 1277-1290.

MELVILLE M.D., ATKINSON G.-1985- Soil color; its measurement and its designation in models of uniform color space. Journal of soils sc., 36, p 495-512

MULDERS M.A.-1987- Remote sensing in soil science. Developments in soil science 15, Elsevier.

Munsell Color Company-1985- Munsell color chart. Baltimore, 7 p.

OTHA N, WISZECKI G.-1977- Location of the nodes of metameric color charts. Soil Sc., 71, p 35-43

PROST R, KING C.-1983-Propriétés de réflexion de pâtes de kaolinite en fonction de leur teneur en eau. Clays minerals, 18, p 193-204.

SHIELDS J.A., St ARNAUD R.J. -1981- Measurement of soil color. Can. J. Soil sc., 46, p 83-90.

STONER E.R., BAUMGARDNER M.-1981-Physical site and bidirectionnal reflectance factor characteristics of moist soils. Lars Technical Report, 11676, west lafayette, Purdue Universty, USA, 94p.

TORRENT J. -1983- Quantitative relationships between soil color and hematite content. Soil Sc., 38, p 354-358;

WISZECKI G., STILES W.S. -1982- Color science: concept and methods, quantitative data and formulae. Wiley, New York, 2nd edition, 950p.

MO	1					
Fe	-0.014	1				
CaCO ₃	-0.054	-0.296	1			
Tein	0.127	-0.011	0.088	1		
Clar	-0.501	-0.495	0.482	-0.07	1	
Pur	-0.249	0.05	-0.353	-0.412	0.016	1
	MO	Fe	CaCO ₃	Tein	Clar	Pur

Tabl.1. Matrice de correlations entre les constituants et la couleur Munsell.

Tein: teinte
 Clar: clarté
 Pur : pureté } Munsell

domaine spectral	classe	classif	n	\bar{X} MO	σ	\bar{X} Fe	σ	\bar{X} CaCO ₃	σ	couleur Me	σ
V i s i b i l e	a	1	12	27.1	18	3.9	4.5	7.5	16.4	10YR 3/2	3/2-3/3
	b1	2	4	0.79	0.6	12.6	2.2	90.1	1.7	10YR 7/2	4/1-8/2
	b2	2	4	0.51	0.7	1.1	1.9	36.9	33.9	10YR 8/2	6/2-8/2
	c	3	6	4.05	1.4	13.3	1.3	0	-	10YR 4/3	3/4-4/4
	d1	3	19	3.7	5.6	13.8	9.5	1.92	1	10YR 4/3	3/3-4/4
	d2	3	35	1.57	1.8	4	1.8	1.5	0.2	7.5YR 6/6	6/6-6/8
	e	3	6	0.58	0.62	4.2	5	32.2	3	10YR 7/2	6/3-8/4
p • i R	1		27	7.65	13.5	2.3	2.4	29.2	35.5	10YR 5/2	4/2-7/1
	2		39	1.68	3.5	7.2	7.8	8.47	16.8	10YR 6/2	4/4-6/6
	3		11	14.1	14	9	7	0	-	10YR 4/2	3/2-5/3
	4		5	0		5.5		0		10YR 4/4	3/3-8/1
	5		1	0.3		0		3		10YR 8/2	

Tabl.2. Relations entre les formes de courbes et les principaux constituants.
 a,b1,b2,c,d1,d2,e: principales formes de courbes spectrales dans le visible.
 1,2,3,4,5: principales formes de courbes spectrales dans le pIR.
 n: nombre de courbes par classe, \bar{X} : moyenne, Médiane, σ : écart-type