Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 78 (1986-1987)
Heft: 370

Artikel: Contribution à l'étude des terres argileuses de la région de Payerne
Autor: Sigg, Jean / Maggetti, Marino / Galetti, Giulio
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-278908

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Contribution à l'étude des terres argileuses de la région de Payerne

PAR

JEAN SIGG[1], MARINO MAGGETTI[2] et GIULIO GALETTI[2]

Résumé. – Dans la vallée de la Broye, et principalement dans la région de Corcelles/Payerne, des terres à briques et tuiles ont été exploitées depuis le siècle dernier jusqu'en 1976. Il s'agit de marnes et d'argiles sablo-marneuses ayant pu se déposer dans le lac holocène de 450 m. Au cours de l'exploitation, l'un de nous (J. Sigg) a été plus particulièrement intéressé par les rapides changements de faciès, d'un site à l'autre, ou même à l'intérieur d'un même site. Cela se traduit par la très importante variabilité des composants minéralogiques primaires. Au nombre de trente-sept, les terres étudiées contiennent surtout du quartz et de la calcite, avec un peu de feldspath potassique, du plagioclase et de la dolomie. La fraction argileuse, quant à elle, consiste en illite, chlorite et interstratifié illite/montmorillonite.

Les analyses chimiques confirment la grande variabilité des terres. Par ailleurs, un traitement statistique des valeurs analytiques permit de montrer certaines corrélations entre certains paramètres minéralogiques, chimiques et technologiques (corrélations positives: retrait sur sec/retrait sur cuit, dureté/retrait sur cuit, H_2O absorption/calcite, Al_2O_3/Fe_2O_3, Fe_2O_3/retrait sur sec et sur cuit. Fe_2O_3/surface spécifique – corrélations négatives: dureté/calcite, SiO_2/H_2O absorption).

Quant au comportement des terres du point de vue rhéologique, la granulométrie, en association avec la composition minéralogique, est aussi un paramètre essentiel quant aux valeurs qui caractérisent le retrait au séchage d'une part, l'indice de plasticité d'autre part. Pour ce dernier, une différence significative a pu être établie entre terres jaunes situées au-dessus du niveau de la nappe phréatique et terres bleues, généralement immergées et riches en matières organiques. Enfin, en ce qui concerne la couleur du tesson, les terres du site de Rosex ont été choisies pour leur degré de variation. Deux paramètres ont été particulièrement significatifs, soit CaO/Al_2O_3 et $Fe_2O_3/CaO + MgO$.

Abstract. – Contribution to the study of clays in the area of Payerne (Switzerland)
In the Broye valley near Corcelles/Payerne raw materials for brick and tile pro-

[1] Payerne.
[2] Institut de Minéralogie, Université de Fribourg.

duction were mined since the last century up to 1976. They consist mainly of marls and marly-sandy clays which were presumably sedimented in a 450 m Holocene lake. During the excavations one of us (J. Sigg) noticed rapid facies changes from one site to another as well as within one specific site. This is supported by the great variability of the primary mineralogical components. The study of 37 specimens showed quartz and calcite as principal minerals with minor amounts of potassic feldspar, plagioclase and dolomite. The clay fraction consists of illite, chlorite and a mixed-layer illite/montmorillonite. Bulk chemical analyses corroborate these variations. A statistical treatment of the analytical data indicated some correlations between the measured mineralogical, chemical and technological factors (positively correlated are: dry shrinkage/firing shrinkage, hardness/firing shrinkage, H_2O absorption/calcite, Al_2O_3/Fe_2O_3, Fe_2O_3/dry and firing shrinkage, Fe_2O_3/specific surface; negatively correlated are: hardness/calcite and SiO_2/H_2O absorption). The dry shrinkage and the plasticity index strongly depend on the granulometry and the mineralogical composition, both interacting on the rheologic properties as well. The plasticity index is significantly different for the yellow and organic-rich blue earths, the former lying above the water table, the latter below it. A particular site (Rosex) showed marked compositional changes and was chosen for the study of the firing colours. These are influenced primarily by two parameters, the CaO/Al_2O_3 and the $Fe_2O_3/CaO + MgO$ ratios.

1. Situation géographique, géologique et morphologique des différents sites examinés (fig. 1)

Entre le site des Terrailles au NW de Dompierre et le site le plus éloigné au NW de Payerne, la distance est d'environ 6 km, en passant par les sites des Troches et de Rosex, respectivement à l'E et au S de la briqueterie et tuilerie de Corcelles, puis par la Palaz au NW de Payerne.

Quant au site de Fétigny, il est situé 1 km au N de cette localité, soit à proximité même de l'ancienne briqueterie.

Nous avons emprunté à Rumeau (1954) notre description géologique sommaire de la région de Payerne.

A partir de Payerne et jusqu'à la hauteur du rivage SE du lac de Morat, la vallée a la forme d'un rectangle long d'une vingtaine de kilomètres et large de 3,5 km. En amont, la largeur diminue progressivement en direction de Lucens. Au-delà de Sugiez commence la vaste dépression du Seeland bernois.

L'altitude de la plaine décroît progressivement de 450 à 436 m entre Payerne et le lac de Morat. Au SE, dans la région de Payerne, la dépression broyarde est dominée par les collines molassiques (Burdigalien) de Villaret et de Russy, vestiges de la pénéplaine pliocène que l'on peut voir plus particulièrement vers Surpierre. Côté Jura, 3 à 4 km de molasse séparent le thalweg du lac de Neuchâtel.

Creusée d'abord par l'érosion de cours d'eau venus par les dépressions situées en amont, la région s'est trouvée être un chemin facile pour les progressions glaciaires. Ce sont donc l'érosion glaciaire et l'érosion fluviale qui

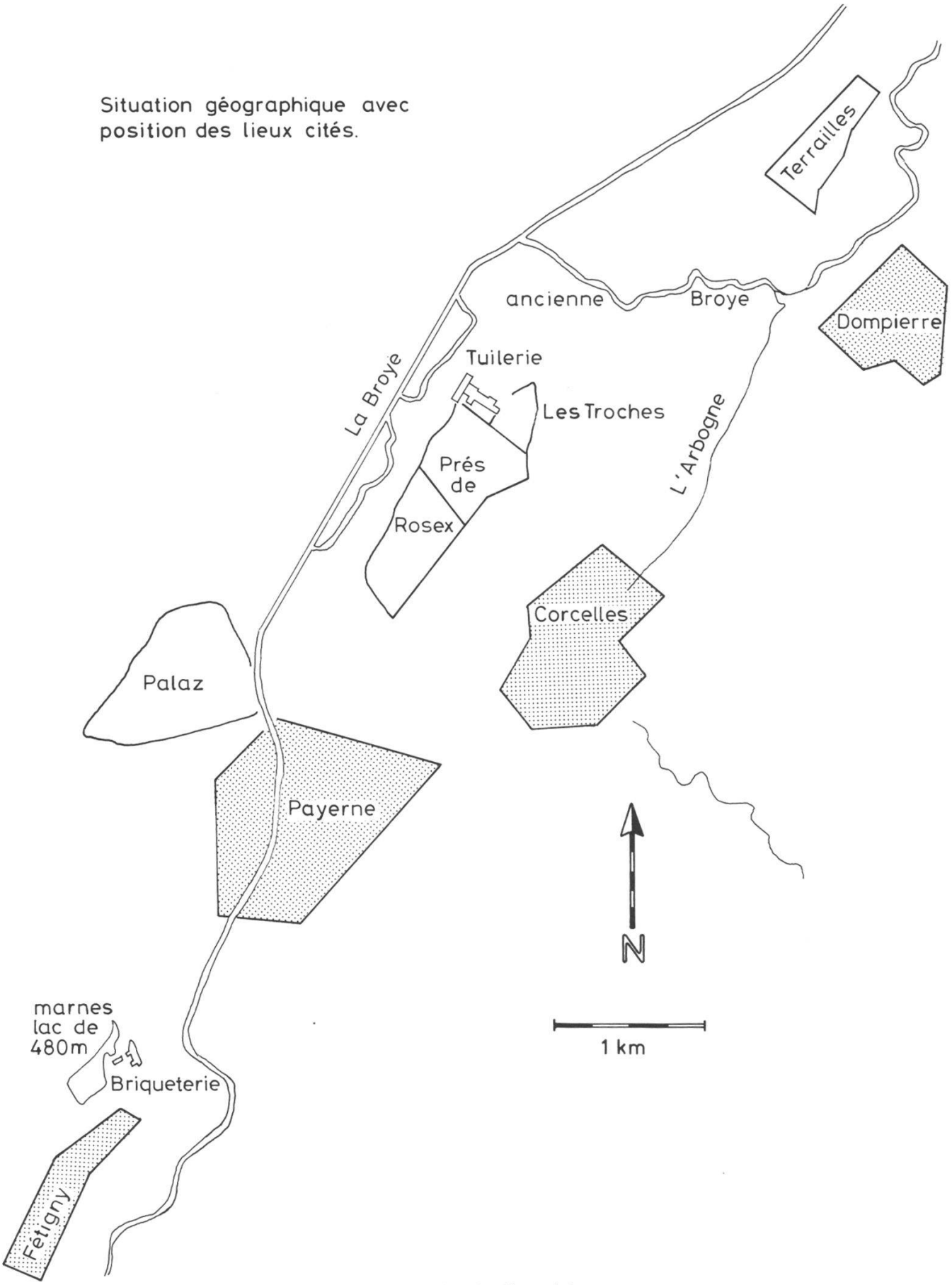


Figure 1. – Situation géographique avec position des lieux cités.

ont taillé dans la surface topographique pliocène, érosions complexes avec des alternances de surcreusements lors des périodes glaciaires et de remplissage d'alluvions et de cailloutis pendant les périodes interglaciaires. Dernier en date, le glacier würmien a déposé dans la région une couverture morainique plus ou moins épaisse suivant les endroits. Des terrasses correspondent aux principaux épisodes liés au recul du glacier.

2. Les dépôts lacustres (Pléistocène et Holocène)

2.1 Le lac de 480 m (Pléistocène supérieur)

Après le retrait du glacier et du fait de barrages morainiques en aval, aujourd'hui disparus, un premier lac a pu se former dont les dépôts constituent un niveau d'une trentaine de mètres au-dessus de la plaine actuelle. La Broye, en travail vers son profil d'équilibre, a déposé dans ce lac, à la suite de lessivages, un complexe glacio-lacustre représenté par les *«marnes de Fétigny»*.

De son côté, l'Arbogne a édifié dans ce lac un cône de déjection débutant en amont de Cousset et se prolongeant jusque vers Payerne et la région de Corcelles.

Les marnes de Fétigny et le cône de l'Arbogne sont, dans la région, les deux principaux vestiges de la terrasse du lac de 480 m

2.2 Le lac de 450 m (Holocène)

Pour une cause indéterminée, le barrage qui retenait les eaux du lac du Jura de 480 m a dû céder. Le niveau a baissé et les dépôts du Pléistocène ont été érodés. Avec le lessivage des moraines, la reprise des marnes du lac de 480 m et d'affleurements molassiques, une nouvelle sédimentation a pu s'effectuer qui allait intéresser toute la basse vallée de la Broye.

Pour la région qui nous occupe, à savoir celle de Payerne, *les marnes et argiles des lacs de 480 m et 450 m* ont été longtemps une source de matière première pour la fabrication de briques et tuiles. Dans le présent travail, il sera principalement question des caractéristiques des différentes couches du lac de 450 m.

L'exemple présenté à la figure 2 est valable pour l'ensemble de la région: des différences existent pourtant d'un site à l'autre. Ainsi, la terre bleue peut ne pas être présente (site de la Palaz), tandis que les différents niveaux peuvent aussi être moins différenciés (sites des Terrailles et des Troches).

2.3 Caractéristiques des principaux niveaux

De bas en haut:

– Sous la formation argileuse: sable, cailloutis et graviers aquifères.

– *Niveau 1:* argile marneuse bleue à gris bleu, très plastique, à débris végé-

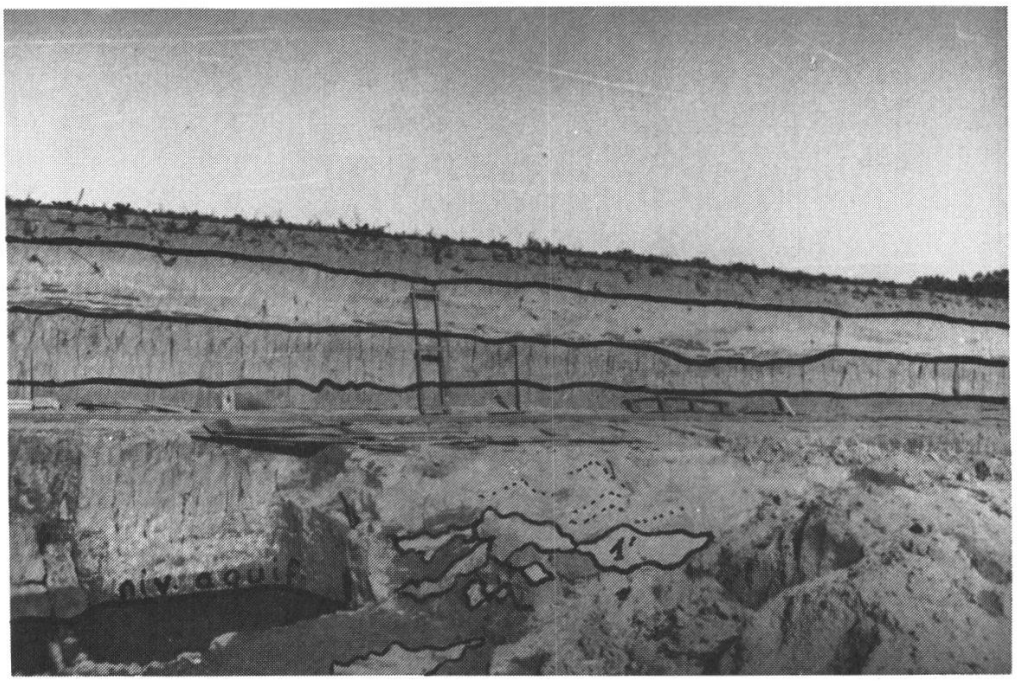


Figure 2. – Vue d'une ancienne exploitation à l'est de la briqueterie-tuilerie de Corcelles, le long de la route de Payerne à Ressudens (voir explications au § 2.3).

taux parfois abondants pouvant aller jusqu'à des troncs entiers. Généralement peu sablonneux, ce niveau peut soudain contenir des poches de sable presque pur (1′ sur la fig. 2), témoin d'une érosion et d'un remaniement. Epaisseur 1 à 2 m.

– *Niveau 2:* marne argileuse jaune à gris jaune, plus ou moins sablonneuse; localement, elle peut contenir un peu de gravier. 0,90 à 1,70 m.

– *Niveau 3:* limon argileux avec concrétions calcaires. Reprise partielle de l'argile sous-jacente. 0,30 à 1,50 m.

– *Niveau 4:* alluvions récentes, gris clair à beige clair, marne argileuse et sablonneuse. Environ 0,60 m.

Remarque: Chaque niveau peut être constitué de plusieurs couches, dont l'épaisseur et la lithologie sont variables.

Quant à la nature des différents dépôts successifs, on peut l'interpréter comme suit:

Il s'est d'abord établi un paysage de marécages, cette période correspondant au dépôt de l'argile bleue en milieu réducteur (voir également plus loin, page 172).

Puis, le niveau des eaux s'est élevé, les différents étangs se sont réunis pour former un lac peu profond dans lequel la Broye conservait un chenal changeant et sablonneux. La couleur jaune des couches qui correspondent à cette période est une preuve de l'oxygénation des eaux [Fe^{3+}, principalement sous forme de goethite, FeO(OH)].

Indépendamment de la qualité des différentes couches, les discontinuités sont elles aussi tout à fait caractéristiques, induisant des variations importantes, tant verticales que latérales, ce qui a toujours nécessité un contrôle

particulier durant la période d'exploitation. A cet égard, le profil représentatif du talus NE d'une ancienne exploitation de Rosex est tout particulièrement significatif. On y voit en effet la lithologie varier rapidement: les terres à brique (lehms plus ou moins sablonneux) y alternent irrégulièrement avec les terres à tuiles (lehms et argiles plus ou moins marneuses) (fig. 3).

Après cet aperçu morphologique, paléographique et lithologique des argiles jaunes et bleues de la région de Corcelles (lac de 450 m), il reste à examiner les compositions de ces deux types de roches, y compris les termes de transition. A titre de comparaison, deux échantillons de marnes représentatifs des sédiments du lac de 480 m (ancienne briqueterie de Fétigny) ont également été analysés.

3. Minéralogie

3.1 Composition minéralogique

Il y a de grandes analogies entre les différents sites examinés, à savoir la Palaz, Rosex, les Troches, les Terrailles (avec pour comparaison le site de Fétigny où sont encore visibles les marnes du lac de 480 m).

Comme il est toujours question de marnes sablonneuses ou d'argiles plus ou moins marneuses et plus ou moins sablonneuses (lehms), le quartz est partout abondant. Quant à la phase argileuse, elle ne contient pratiquement pas de kaolinite, mais toujours illite plus chlorite avec interstratifié (illite/montmorillonite). On pouvait attendre ce résultat du fait d'une relation avec les bassins versants, détritique principalement. Les minéraux constitutifs des dépôts lacustres sont bien les mêmes que ceux des formations morainiques et de la molasse. D'ailleurs, pour la phase argileuse et d'après Vernet (1959), Peters (1969), c'est bien la série illite, chlorite plus interstratifiés qui est caractéristique. L'héritage est donc le mécanisme auquel il est nécessaire de se référer.

En fait, c'est principalement dans les proportions relatives des minéraux majeurs que les terres diffèrent le plus (tableau 1).

A ce propos, aussi bien d'un site à l'autre qu'à l'intérieur d'un même site, il faut faire une place à part au calcaire (chose que les analyses chimiques ont d'ailleurs permis de montrer plus en détail (voir tableau 2).

Remarque:
En ce qui concerne les tableaux 1, 2, 3, 4 et 9: pour les différents sites, les numéros correspondent chaque fois aux échantillons prélevés de haut en bas de chaque formation. Les numéros avec (m) représentent un échantillon moyen obtenu par le mélange des terres de chaque niveau, compte tenu de leur épaisseur.

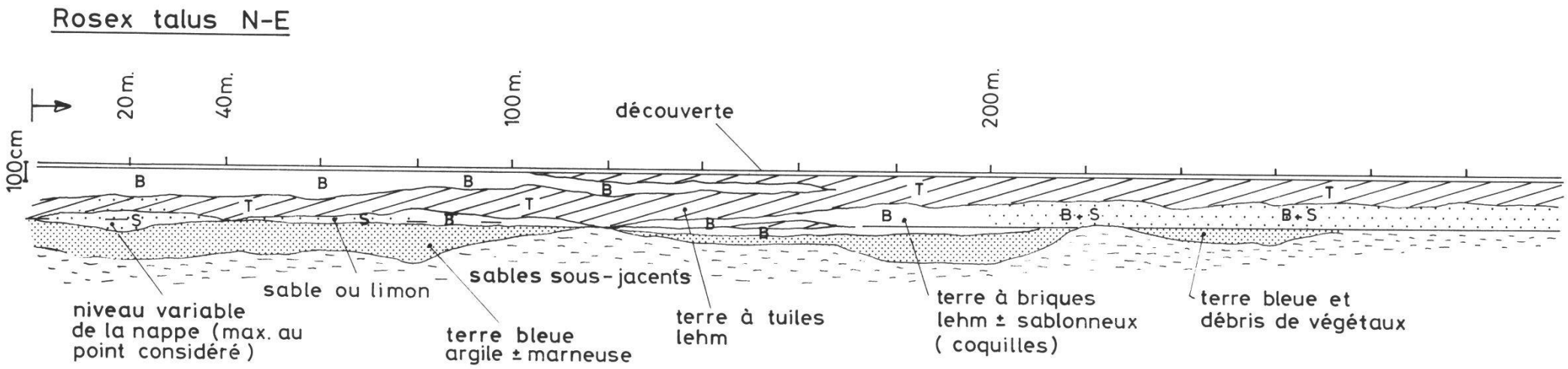


Figure 3. – Talus NE d'une ancienne exploitation du Rosex.
B = terre à briques.
T = terre à tuiles.
S = sable ou limon.

		Minéraux majeurs				Minéraux argileux			
	N°	Qz	Pl	Fp	Cc	Do	Il	Ch	I/M
T	Co 15	xxxx	x	x	x	x	x	x	x
	Co 18 m	xxxx	xx	x	xx	x	x	x	x
	Co 19	xxxx	xxx		xx	x	x	x	x
	Co 20	xxxx	xx		xx	x	x	x	x
	Co 21	xxxx	x		x		x	x	x
Tr	Co 22	xxxx	x	x	x		x	x	x
	Co 23	xxxx	x	xx	x		x	x	x
	Co 24	xxxx	x	x	x	x	x	x	x
	Co 25	xxxx	x	x	x		x	x	x
	Co 26	xxxx	x	x	xx	x	x	x	x
	Co 27	xxxx	x	x	xx	x	x	x	x
	Co 1 m	xxxx	xx	x	xx	x	x	x	x
	Co 2	xxxx	x	x	xxx	x	x	x	x
	Co 3	xxxx	xx	x	xx	x	x	x	x
	Co 4	xxxx	xx	x	x		x	x	x
	Co 5	xxxx	xx	xxx			x	x	x
	Co 6	xxxx	xx	x	xx	x	x	x	x
R	Co 7	xxxx	xx		xxx	x	x	x	x
	Co 8	xxxx	xxx	x	xx	x	x	x	x
	Co 9	xxxx	xx	x	xx	x	x	x	x
	Co 10	xxxx	x	x	xxx	x	x	x	x
	Co 11	xxxx	x	x	xx	x	x	x	x
	Co 12	xxxx	xx	x	x		x	x	x
	Co 13	xxxx	x	x	xxx	x	x	x	x
	Co 14	xxxx	xxx	x	xxx	x	x	x	x
	Co 28 m	xxxx	xx	x	xx		x	x	x
	Co 29	xxxx	xx	x			x	x	x
	Co 30	xxxx	xx	x	x		x	x	x
	Co 31	xxxx	x		xx		x	x	x
P	Co 32	xxxx	x	x	x		x	x	x
	Co 33	xxxx	xx	xx	x		x	x	x
	Co 34	xxxx	xx	x	xx	x	x	x	x
	Co 35	xxxx	x	x	x		x	x	x
	Co 36	xxxx	xx		xx	x	x	x	x
	Co 37	xxxx	xxx	x	xx	x	x	x	x
F	Co 16	xxxx	x	x	xxx	xx	x	x	x
	Co 17	xxxx	x		xxx	x	x	x	x

Tableau 1. – Composition minéralogique des terres étudiées.
xxxx: abondant; xxx: bien représenté; xx: moyennement représenté; x: peu représenté.
F = Fétigny; P = Palaz; R = Rosex; T = Terrailles; Tr = Troches.
Cc = calcite; Ch = chlorite; Do = dolomie; Fp = feldspath potassique;
Il = illite; I/M = interstratifié illite-montmorillonite;
Pl = plagioclase; Qz = quartz.

3.2 Analyse thermique différentielle et courbes de dilatation – retrait

Dans les deux cas, il s'agit d'une terre jaune et d'une terre bleue de Rosex, en parallèle avec une terre des Terrailles représentative d'une formation peu différenciée.

3.2.1 Courbes d'analyse thermique (fig. 4)

Manifestement, l'analogie est grande entre les différentes courbes, chose qui n'est pas étonnante puisque pour l'ensemble il s'agit de lehms plus ou moins sablonneux et calcaires.

Ce qui toutefois est intéressant, ce sont, d'une part entre 100 et 200 °C, le crochet endothermique plus spécialement caractéristique des interstratifiés du type bravaisitique et, d'autre part, à un moindre degré, entre 300 et 400° C, le crochet exothermique, ce dernier étant cependant plus accusé du fait de la présence de matière organique.

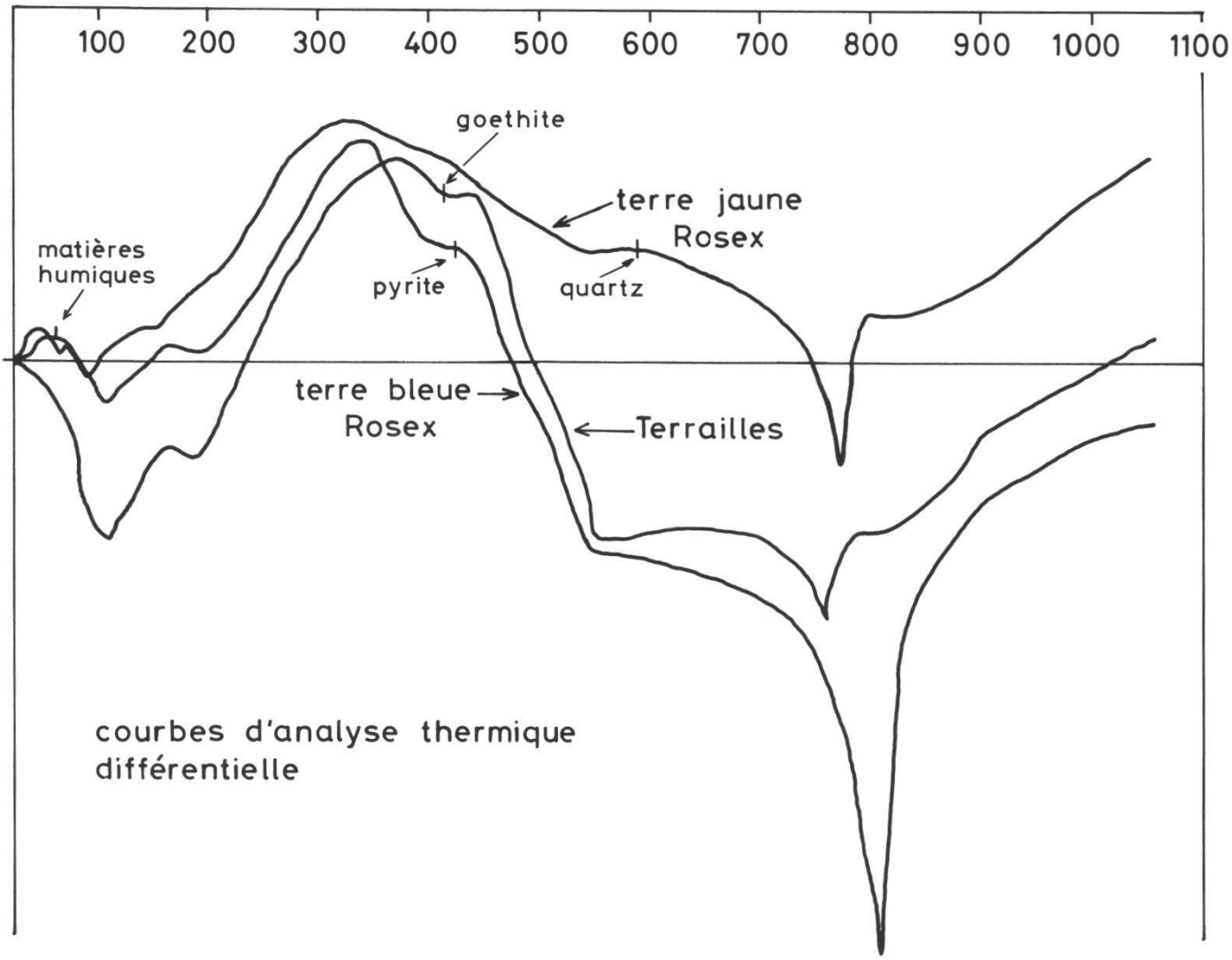


Figure 4. – Courbes d'analyse thermique différentielle. Pour la terre bleue en particulier mais aussi pour la terre jaune, un crochet exothermique apparaît à basse température en relation avec la matière humique. Puis, pour les trois terres, entre 100 et 200° C, apparaît le crochet endothermique de l'eau zéolitique des interstratifiés. Entre 300 et 400° C, se marque l'influence de l'oxydation de matières organiques. Vers 550° C, on note le départ de l'eau de constitution, l'anomalie étant fonction de la proportion des minéraux majeurs par rapport à la phase argileuse. Depuis 750° C et jusqu'à 850° C, on voit une décarbonatation avec crochet endothermique accusé, avant le domaine des nouveaux minéraux issus de la silicatisation de la chaux.

Vers 800 °C, apparaissent les crochets endothermiques consécutifs à la dissociation des carbonates, suivie de la formation des nouveaux minéraux du groupe des silicates de calcium.

3.2.2 Courbes de dilatation – retrait (fig. 5.1)

Comme pour l'analyse thermique, du fait de l'influence des différents constituants en proportions inégales, les courbes s'écartent significativement de celles qui correspondent à des terres plus spécifiques avec leurs points singuliers correspondants (fig. 5.2)

Les courbes dilatométriques obtenues sont donc une résultante, compte

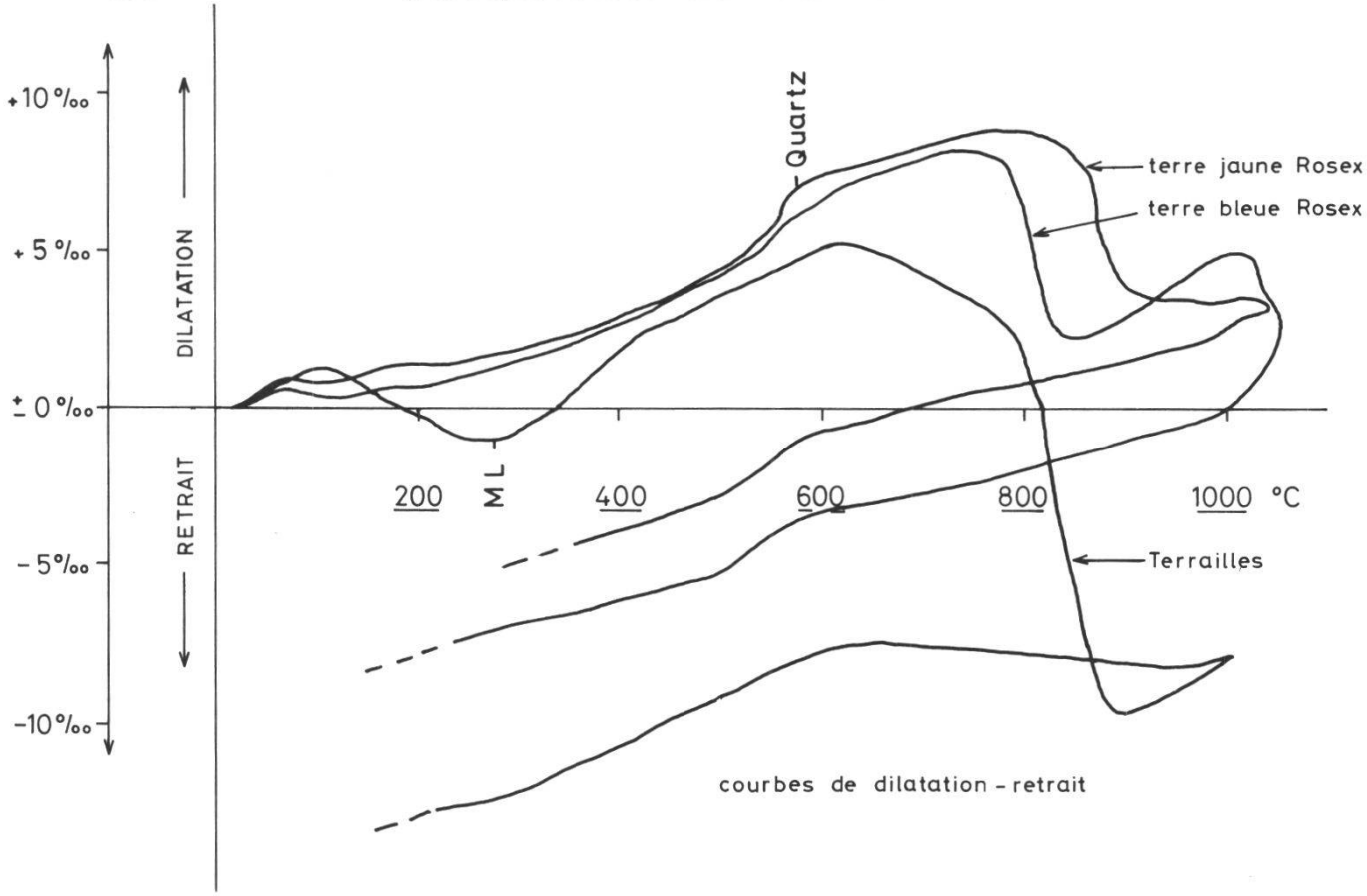


Figure 5.1. – Courbes de dilatation-retrait. Dans leur ensemble, les courbes sont typiques de terres marneuses et illitiques, la courbe qui correspond à la terre des Terrailles étant la plus caractéristique d'une phase argileuse illitique (gonflement de l'illite jusqu'à 600° C avec pseudo-palier entre 600 et 800° C). Pour les terres de Rosex plus particulièrement, le gonflement de l'illite est tout d'abord influencé par la poussée du quartz à 575° C et ensuite par l'expansion consécutive au début de la décarbonatation.

tenu des proportions. Dans le cas présent, elles sont effectivement typiques de marnes, soit d'argiles plus ou moins calcaires et illitiques.

A noter dès 700 °C le retrait classique de l'illite marqué davantage dans le cas de la terre des Terrailles, du fait d'une distribution plus homogène et surtout moins différenciée des différentes phases. A partir de 850 °C, le dégagement brutal du CO_2 résiduel provoque encore un gonflement, plus particulièrement marqué pour la terre bleue de Rosex.

4. Analyses chimiques

4.1 Compositions chimiques

Concernant les compositions chimiques, il est nécessaire de considérer deux aspects, d'abord les variations d'un site à l'autre, puis celles qui peuvent exister entre les couches d'un même site. Si les valeurs du tableau 2 et la figure 6 montrent bien l'importance de ces variations pour les différents constituants, leurs valeurs maximales et minimales sont également très suggestives (tableau 3).

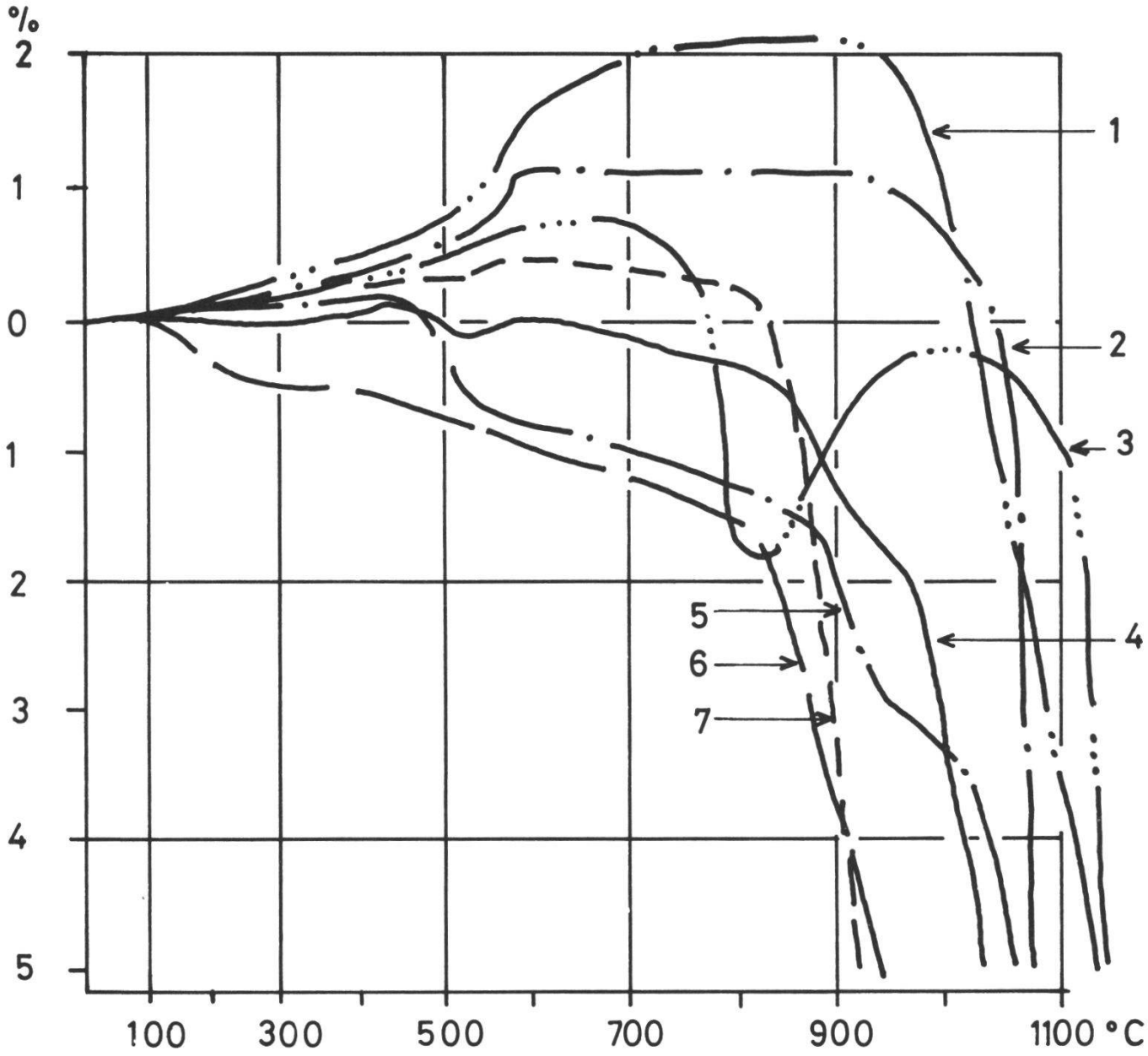


Figure 5.2. – Courbes de dilatation – retrait de matières premières céramiques caractéristiques.
1. séricite; 2. illite avec proportion importante de quartz; 3. marne; 4. kaolinite; 5. une terre réfractaire; 6. une montmorillonite; 7. une illite pure.

Pour le lac de 450 m, on voit que les valeurs pour chaque oxyde peuvent varier beaucoup d'un site à l'autre, en remarquant toutefois que c'est avec SiO_2 que les variations sont proportionnellement les moins fortes.

En dépit des courants qui à certaines époques et localement ont pu déposer des limons (dans la région des Prés de Rosex plus particulièrement), on peut donc supposer que d'une manière générale la sédimentation a été en moyenne partout analogue *en ce qui concerne le rapport quartz/argile.*

Le site de Rosex apparaît d'ailleurs comme un cas un peu particulier, puisque tant pour $A1_2O_3$, le fer total que pour CaO, les valeurs s'écartent beaucoup des valeurs moyennes.

Ainsi que le montrent les valeurs du tableau 4 (après déduction de la

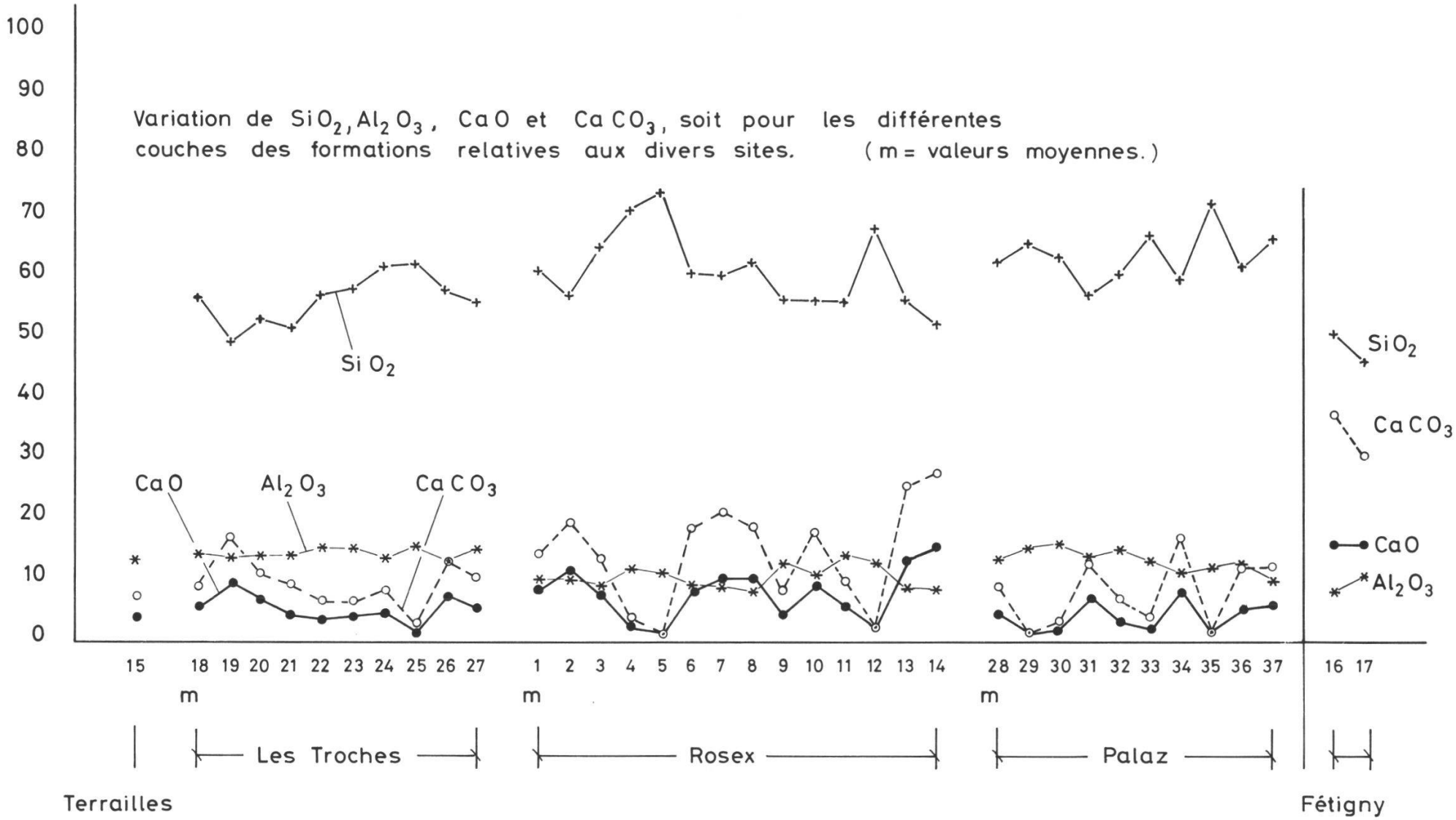


Figure 6. – Variation de SiO_2, Al_2O_3, CaO et $CaCO_3$ pour les différentes couches des formations dans les divers sites.

	N°	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	P.F.	$Fe_2O^*_3$	H_2O^-	$CaCO_3$
T	Co 15	61.23	0.64	14.39	3.09	2.01	0.12	2.21	4.09	1.27	2.23	0.15	9.09	5.32	1.31	7.37
	Co 19	49.40	0.64	13.89	3.81	2.22	0.22	2.71	9.62	1.35	2.07	0.16	13.72	6.27	1.04	17.68
	Co 20	53.25	0.66	14.02	6.56	2.00	0.12	2.61	6.73	1.04	2.08	0.19	11.21	8.78	1.13	11.68
	Co 21	51.95	0.63	14.25	3.77	3.82	0.14	2.32	4.16	1.18	1.78	0.24	15.36	8.02	1.88	9.53
	Co 22	57.21	0.68	15.11	1.88	3.18	0.05	2.53	3.75	1.40	2.19	0.19	11.71	5.41	1.16	6.83
	Co 23	58.14	0.67	15.05	3.16	2.48	0.07	2.35	4.07	1.44	2.22	0.19	9.96	5.92	0.97	6.94
Tr	Co 24	62.32	0.67	13.83	3.53	1.54	0.05	2.39	4.47	1.24	2.22	0.14	7.83	5.24	1.35	8.50
	Co 25	62.49	0.72	15.66	1.90	2.63	0.04	2.55	1.89	1.25	2.69	0.17	8.30	4.83	1.15	3.13
	Co 26	57.70	0.64	13.52	2.22	1.87	0.04	2.41	7.53	1.08	2.34	0.13	10.60	4.30	1.10	13.35
	Co 27	55.86	0.72	15.58	2.48	2.36	0.04	2.75	5.37	0.82	2.63	0.14	11.00	5.10	1.34	10.58
	Co 18m	56.99	0.67	14.61	3.22	2.25	0.08	2.56	5.52	1.16	2.30	0.17	10.48	5.72	1.37	9.32
	Co 1m	61.27	0.51	10.62	2.33	1.42	0.09	1.87	8.43	1.39	1.79	0.13	10.20	3.91	1.02	14.70
	Co 2	57.31	0.52	10.25	2.62	1.22	0.17	2.06	10.87	1.24	1.54	0.13	12.39	3.97	0.90	18.90
R	Co 3	65.37	0.44	9.68	2.07	1.01	0.08	1.61	7.78	1.51	1.68	0.13	8.99	3.20	0.80	13.78
	Co 4	71.67	0.55	11.80	3.02	1.01	0.10	1.47	2.31	1.59	1.88	0.12	5.13	4.14	1.38	4.16
	Co 5	74.24	0.53	11.55	3.68	0.61	0.19	1.24	1.20	1.66	1.88	0.11	3.51	4.36	1.58	1.60
	Co 6	61.16	0.46	9.67	3.63	0.72	0.11	1.56	9.56	1.43	1.70	0.13	10.15	4.43	0.96	18.75
	Co 7	60.98	0.44	9.31	1.92	0.93	0.04	1.70	10.56	1.34	1.72	0.11	10.77	2.95	0.56	21.53
	Co 8	62.69	0.40	8.68	2.26	0.81	0.05	1.55	10.35	1.47	1.64	0.12	10.14	3.16	0.51	19.21
	Co 9	56.65	0.60	13.19	0.74	3.29	0.03	2.19	4.46	1.03	2.23	0.17	15.02	4.39	1.45	8.53
R	Co 10	56.59	0.59	11.47	2.00	1.88	0.05	2.34	9.49	1.11	1.87	0.15	12.26	4.09	1.44	18.02
	Co 11	56.15	0.68	14.18	1.72	2.96	0.04	2.79	5.49	0.93	2.26	0.16	12.67	5.01	1.67	10.28
	Co 12	68.29	0.56	12.95	2.57	1.79	0.04	1.91	2.20	1.46	2.15	0.13	5.93	4.56	1.29	3.63
	Co 13	56.43	0.42	8.97	1.75	1.25	0.07	1.93	13.11	1.31	1.65	0.11	13.87	3.14	0.87	25.80
	Co 14	52.59	0.43	8.70	1.48	1.38	0.07	2.26	15.31	1.20	1.57	0.12	14.89	3.01	0.89	28.00
	Co 29	65.65	0.69	15.26	4.99	1.13	0.08	2.17	1.41	1.18	2.43	0.14	5.07	6.25	2.14	2.12
	Co 30	63.62	0.74	16.11	4.85	1.26	0.08	2.22	1.82	1.10	2.48	0.16	6.05	6.25	1.47	3.20
	Co 31	57.31	0.69	14.10	4.16	1.22	0.09	2.12	7.32	0.88	2.10	0.17	9.81	5.52	1.49	13.28
	Co 32	60.44	0.74	15.30	4.49	1.34	0.09	2.23	3.76	1.01	2.27	0.19	7.67	5.98	1.64	7.32
	Co 33	66.96	0.62	13.38	3.46	1.16	0.08	1.91	2.83	1.35	2.24	0.17	5.74	4.75	1.12	4.53
P	Co 34	59.13	0.57	11.44	2.99	1.10	0.12	2.06	8.84	1.25	1.86	0.15	10.29	4.22	0.85	17.38
	Co 35	72.59	0.55	12.21	2.92	1.09	0.05	1.50	1.52	1.58	2.29	0.14	3.97	4.13	1.60	2.34
	Co 36	61.85	0.62	12.80	2.93	1.45	0.05	2.06	6.03	1.30	2.08	0.15	8.74	4.55	1.01	12.63
	Co 37	66.64	0.46	10.22	2.18	1.05	0.09	1.56	6.32	1.54	1.96	0.18	7.81	3.35	0.53	12.48
	Co 28m	63.73	0.63	13.41	3.71	1.17	0.08	2.03	4.43	1.19	2.19	0.16	7.32	5.01	0.80	9.45
F	Co 16	50.57	0.46	8.60	1.50	1.45	0.12	2.84	15.97	1.31	1.61	0.13	15.34	3.12	0.37	37.50
	Co 17	45.98	0.52	10.81	2.07	1.88	0.10	3.23	15.75	1.01	2.10	0.12	15.93	4.16	0.73	30.52

Tableau 2. – Pour les différents sites, composition chimique des différentes couches représentatives.
$Fe_2O^*_3$ = Fer total; P.F. = perte au feu;
F = Fétigny; P = Palaz; R = Rosex; T = Terrailles; Tr = Troches.

perte au feu), pour l'ensemble des sites, il s'agit de terres plutôt pauvres en alumine, mais par contre avec des quantités de «fondants» assez élevées; ce sont, par conséquent, *des terres facilement fusibles.* La teneur totale en fer diminue lorsque CaO augmente, les terres bleues à verdâtres étant évidemment caractérisées par une quantité plus importante de FeO. Et à ce propos, puisque dans un sol aéré ne peut exister que du fer ferrique (Fe^{3+}, la

	N°	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	P.F.	$Fe_2O^*_3$	H_2O^-
T	Co 15	61.23	0.64	14.39	3.09	2.01	0.12	2.21	4.09	1.27	2.23	0.15	9.09	5.32	1.31
	min.	49.40	0.63	13.52	1.88	1.54	0.04	2.32	1.89	0.89	1.78	0.13	7.83	4.30	0.87
Tr	max.	62.49	0.72	15.66	6.56	3.82	0.22	2.75	9.62	1.44	2.69	0.24	15.36	8.78	1.88
	moy.	56.48	0.67	14.546	3.257	2.456	0.086	2.513	5.288	1.20	2.247	0.172	11.017	5.959	1.254
	min.	52.59	0.40	8.68	0.74	0.61	0.03	1.24	1.20	0.93	1.54	0.11	3.51	2.95	0.51
R	max.	74.24	0.68	14.18	3.68	3.29	0.19	2.79	15.31	1.66	2.26	0.17	15.02	5.01	1.67
	moy.	61.548	0.509	10.800	2.266	1.451	0.080	1.893	7.899	1.329	1.828	0.13	10.351	3.88	1.094
	min.	57.31	0.46	10.22	2.18	1.05	0.05	1.50	1.41	0.88	1.86	0.14	3.97	3.35	0.53
P	max.	72.59	0.74	16.11	4.99	1.45	0.12	2.23	8.84	1.58	2.48	0.19	10.29	6.25	2.14
	moy.	63.799	0.631	13.424	3.663	1.20	0.081	1.981	4.428	1.243	2.19	0.161	7.247	5.001	1.265
	min.	45.98	0.46	8.60	1.50	1.45	0.10	2.84	15.75	1.01	1.61	0.12	15.34	3.12	0.37
F	max.	50.57	0.52	10.81	2.07	1.88	0.12	3.23	15.97	1.31	2.10	0.13	15.93	4.16	0.73
	moy.	48.275	0.49	9.705	1.785	1.665	0.11	3.035	15.86	1.16	1.855	0.125	15.635	3.64	0.55

Tableau 3. – Valeurs max. et min. des différents constituants et pour les différents sites.
$Fe_2O^*_3$ = Fer total; P.F. = perte au feu;
F = Fétigny; P = Palaz; R = Rosex; T = Terrailles; Tr = Troches.

proportion relativement élevée de FeO qui caractérise les terres bleues et qui dans la nature peut correspondre à $Fe(OH)_2$ bleu-vert, à la sidérite $FeCO_3$ ou encore à des complexes ferro-humiques, est donc bien l'indice de conditions réductrices (voir plus haut page 163).

Le potentiel d'oxydo-réduction Eh, qui lui-même dépend du pH et de la température, détermine les proportions relatives de fer ferrique et de fer ferreux, soit le rapport $\frac{(Fe^{3+})}{(Fe^{2+})}$

4.2 Couleur des terres de Rosex après cuisson

Pour le seul site de Rosex, on a cherché à préciser l'influence de divers rapports d'oxydes sur la couleur du tesson (tabl. 5, fig. 7). Cette dernière passe nettement au rouge lorsque le rapport CaO/Al_2O_3 est inférieur à 0,8. Entre 0,8 et 1,2, la couleur est rose clair ou brun rose, pour devenir nettement jaunâtre pour des valeurs $> 1,4$. A l'inverse, lorsque le rapport $Fe_2O_3/CaO + MgO$ est $> 0,5$, on passe de la couleur brunâtre ou jaunâtre à la couleur rose, puis rouge. Il faut remarquer que si ces rapports n'ont rien d'absolu, ils indiquent cependant une tendance qui se vérifie statistiquement.

Etant donné la présence d'un seul pigment (l'hématite), il faut attribuer les variations de teintes principalement à la proportion et au degré de finesse de la chaux, et par suite, pour une même température de cuisson aux différentes compositions minéralogiques correspondantes (l'atmosphère étant bien entendu toujours oxydante).

Toujours à propos de Rosex, choisi comme exemple-type d'un site pour lequel les couches varient beeaucoup qualitativement, on a vu que la valeur

	N°	SiO_2	Al_2O_3	$Fe_2O^*_3$	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	TiO_2
T	Co 15	67.30	15.82	5.85	0.13	2.43	4.50	1.40	2.45	0.17	0.70
Tr	Co 19	57.25	16.10	7.27	0.25	3.14	11.15	1.56	2.40	0.19	0.74
	Co 20	59.92	15.78	9.88	0.14	2.94	7.57	1.17	2.34	0.21	0.74
	Co 21	61.38	16.84	9.47	0.16	2.74	4.92	1.39	2.10	0.28	0.75
	Co 22	64.78	17.11	6.13	0.06	2.87	4.25	1.58	2.48	0.22	0.77
	Co 23	64.57	16.71	6.57	0.08	2.61	4.52	1.60	2.47	0.21	0.74
	Co 24	67.59	15.00	5.68	0.05	2.59	4.85	1.35	2.41	0.15	0.73
	Co 25	68.11	17.07	5.26	0.04	2.78	2.06	1.36	2.93	0.18	0.79
	Co 26	64.52	15.12	4.81	0.05	2.70	8.42	1.21	2.62	0.15	0.72
	Co 27	62.76	17.51	5.73	0.05	3.09	6.03	0.92	2.95	0.16	0.81
	Co 18m	63.64	16.32	6.39	0.09	2.86	6.16	1.30	2.57	0.19	0.75
R	Co 1	68.21	11.82	4.35	0.10	2.08	9.39	1.55	1.99	0.14	0.57
	Co 2	65.37	11.69	4.53	0.19	2.35	12.40	1.41	1.76	0.15	0.59
	Co 3	71.79	10.63	3.51	0.09	1.77	8.54	1.66	1.85	0.14	0.48
	Co 4	75.51	12.43	4.36	0.11	1.55	2.43	1.68	1.98	0.13	0.58
	Co 5	76.93	11.97	4.52	0.20	1.29	1.24	1.72	1.95	0.11	0.55
	Co 6	68.04	10.76	4.93	0.12	1.74	10.64	1.59	1.89	0.15	0.51
	Co 7	68.34	10.43	3.31	0.05	1.91	11.84	1.50	1.93	0.12	0.49
	Co 8	69.74	9.66	3.52	0.06	1.72	11.51	1.64	1.83	0.13	0.45
	Co 9	66.67	15.52	5.17	0.04	2.58	5.25	1.21	2.62	0.20	0.71
	Co 10	64.50	13.07	4.66	0.06	2.67	10.82	1.26	2.13	0.17	0.67
	Co 11	64.26	16.23	5.73	0.05	3.19	6.28	1.06	2.59	0.18	0.78
	Co 12	72.59	13.76	4.85	0.04	2.03	2.34	1.55	2.29	0.14	0.60
	Co 13	64.76	10.30	3.60	0.08	2.22	15.05	1.50	1.89	0.13	0.48
	Co 14	61.77	10.22	3.54	0.08	2.65	17.98	1.41	1.85	0.14	0.51
P	Co 29	69.14	16.07	6.58	0.08	2.29	1.48	1.24	2.56	0.15	0.73
	Co 30	67.69	17.14	6.65	0.09	2.36	1.94	1.17	2.64	0.17	0.79
	Co 31	63.54	15.63	6.12	0.10	2.35	8.12	0.98	2.33	0.19	0.77
	Co 32	65.48	16.57	6.48	0.10	2.42	4.07	1.09	2.46	0.21	0.80
	Co 33	71.04	14.19	5.04	0.08	2.03	3.00	1.43	2.38	0.18	0.66
	Co 34	65.92	12.75	4.70	0.13	2.30	9.85	1.39	2.07	0.17	0.63
	Co 35	75.57	12.71	4.30	0.05	1.56	1.58	1.64	2.38	0.15	0.57
	Co 36	67.76	14.02	4.98	0.06	2.26	6.61	1.42	2.28	0.16	0.68
	Co 37	72.28	11.08	3.63	0.10	1.69	6.86	1.67	2.13	0.19	0.50
	Co 28m	68.75	14.47	5.40	0.09	2.19	4.78	1.28	2.36	0.17	0.68
F	Co 16	59.62	10.16	3.68	0.14	3.36	18.87	1.55	1.90	0.15	0.54
	Co 17	54.72	12.86	4.95	0.12	3.85	18.75	1.20	2.50	0.14	0.62

Tableau 4. – Pour les différents sites, composition chimique des différentes couches représentatives, perte au feu déduite.
$Fe_2O^*_3$ = Fer total; F = Fétigny; P = Palaz; R = Rosex; T = Terrailles; Tr = Troches.

moyenne de Al_2O_3 est également la plus faible pour le lac de 450 m (tableau 3). Compte tenu de ce pourcentage, des valeurs de Al_2O_3/SiO_2 et de la formule structurale de l'illite

$$[(OH)_2\ Al_2\ Si_{4-x}\ \underset{\underset{K_x}{|}}{Al_x}O_{10};\ 0{,}5 < x < 75],$$

il s'ensuit que, si par hypothèse et pour simplifier, la phase argileuse n'était composée que d'illite, la proportion d'argile serait de l'ordre de 22%. Cela

N°		A	B	C	D	E	F	G	H
Co	1	0.794	19.36	3.54	13.74	80.03	11.47	15.82	0.379
Co	2	1.061	26.95	3.17	16.93	77.06	14.75	19.28	0.307
Co	3	0.803	17.33	3.51	12.05	82.42	10.31	13.82	0.340
Co	4	0.195	12.00	3.66	6.79	87.94	3.98	8.34	1.095
Co	5	0.104	10.72	3.67	5.76	88.90	2.53	7.05	1.786
Co	6	0.989	20.79	3.48	15.57	78.80	12.38	17.31	0.398
Co	7	1.135	20.49	3.43	15.15	78.77	13.75	17.06	0.241
Co	8	1.192	19.92	3.47	15.03	79.40	12.23	16.75	0.266
Co	9	0.338	16.83	3.83	10.42	82.19	7.83	13.00	0.660
Co	10	0.828	21.54	3.39	15.48	77.57	13.49	18.15	0.345
Co	11	0.387	18.85	3.65	12.01	74.56	9.47	15.20	0.605
Co	12	0.170	13.06	3.84	9.53	86.35	4.37	9.22	1.110
Co	13	1.461	24.26	3.39	18.65	75.06	17.27	20.87	0.208
Co	14	1.759	27.43	3.26	21.52	71.99	20.63	24.17	0.172

Tableau 5. – Pour le site de Rosex, valeurs de différents rapports et groupes d'oxydes.

$A = \frac{CaO}{Al_2O_3}$ $B = Fe_2O_3 + MgO + K_2O + Na_2O + CaO$

$C = K_2O + Na_2O$ $D = CaO + Fe_2O_3$ $E = SiO_2 + Al_2O_3$

$F = CaO + MgO$ $G = CaO + MgO + FeO$

$H = \frac{Fe_2O_3}{CaO + MgO}$

A noter que les couleurs du tesson relatif aux différentes terres sont aussi l'expression des variations des groupes d'oxydes D, F et G, de même d'ailleurs que la dureté ou le retrait (voir également tableau 9).

correspond assez bien aux analyses granulométriques, étant donné aussi la présence de limon fin dans la fraction $< 2\ \mu$ (fig. 8).

4.3 Les marnes du lac de 480 m

Les différences entre les terres du lac de 450 m et les marnes du lac de 480 m se résument essentiellement à un pourcentage beaucoup plus élevé de carbonate dans ce dernier et corrélativement plus faible en SiO_2, Al_2O_3 et fer total (voir tableaux 2 et 3).

La température a donc joué un rôle, les eaux froides pouvant dissoudre davantage de calcaire et par suite le déposer par réchauffement en arrivant dans un lac. Pour les marnes du lac de 480 m, il faut donc imaginer un paysage périglaciaire par opposition à celui du lac de 450 m, qui ne devait pas être très différent du paysage qui caractérisait la région alors qu'existait encore le Grand Marais, soit avant la correction des eaux du Jura (1868-1889).

4.4 Importance de la dispersion entre les différents constituants

Ce qui apparaît en définitive comme le fait essentiel, *c'est le degré de dispersion tant d'un site à l'autre qu'à l'intérieur d'un même site* (voir tableaux 6 et 7). Comme nous l'avons déjà remarqué plus haut (page 169) à propos des valeurs du tableau 3, c'est avec SiO_2 que la dispersion est la plus faible. Pour le fer total, Rosex de nouveau se caractérise par une forte dispersion de valeur négative, comme d'ailleurs pour Al_2O_3, et qu'il faut mettre en opposition avec la dispersion importante mais positive pour CaO.

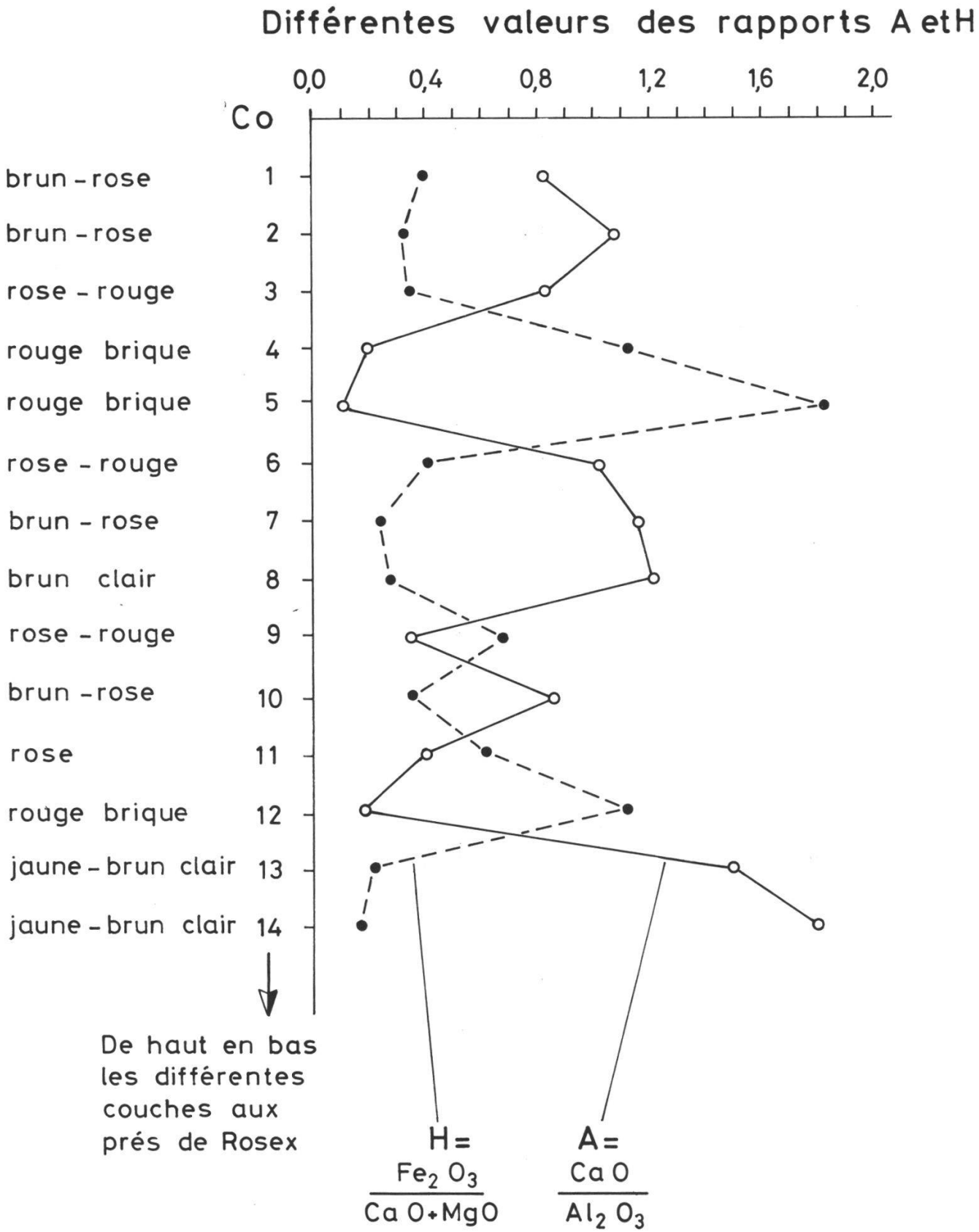


Figure 7. – Variations des valeurs des rapports A et H.

Il y a donc un effet de compensation, des valeurs plus élevées de Al_2O_3 et fer total étant le signe de davantage d'argile, ce qui en moyenne s'est tou-

jours vérifié pour Palaz et les Terrailles, au niveau de la qualité des tessons des produits fabriqués.

L'examen de la dispersion des principaux constituants à l'intérieur d'un même site est également intéressant. Elle est la plus faible pour SiO_2, plus forte pour Al_2O_3 et le fer total (qui varient dans le même sens) et considérable pour CaO.

SiO_2			
± 0.0 %	Terr.	67.30	
- 5.3	Troches	63.43	
+ 2.2	Rosex	68.46	valeur moyenne 67.0
+ 2.5	Palaz	68.70	
moyenne	Fétigny	57.17 - 14.7 %	
Al_2O_3			
+ 7.9	Terr.	15.82	
+ 11.6	Troches	16.36	
- 18.1	Rosex	12.0	valeur moyenne 14.66
- 1.36	Palaz	14.46	
moyenne	Fétigny	11.51 - 21.48 %	
Fe total			
+ 4.8	Terr.	5.85	
+ 21.4	Troches	6.76	
- 22.4	Rosex	4.33	valeur moyenne 5.58
- 3.4	Palaz	5.39	
moyenne	Fétigny	4.32 - 22.6 %	
CaO			
- 25.9	Terr.	4.50	
- 1.65	Troches	5.97	
+ 47.9	Rosex	8.98	valeur moyenne 6.07
- 20.42	Palaz	4.83	
moyenne	Fétigny	18.31 - 209.9 %	

Tableau 6. – D'un site à l'autre, dispersion des principaux oxydes.
Remarque: pour les principaux oxydes, à noter, d'une part, la valeur de la dispersion relative à chaque site par rapport à la valeur moyenne pour l'ensemble des sites qui correspondent au lac de 450 m, et, d'autre part, la dispersion qui est relative au lac de 480 m (site de Fétigny) par rapport à la même valeur moyenne.

4.5 Incidences du chimisme sur la sédimentation

Globalement, on peut dire que les terres du lac de 450 m sont formées d'un même type de lehm sablonneux, les variations qualitatives étant principalement imputables *à des apports très variables de carbonates.*

Avec le lac de 480 m, c'est un dépôt tout à fait différent dont il s'agit, les

Troches	- 9.74	SiO_2
	+ 7.38	
	- 8.3	Al_2O_3
	+ 7.0	
	- 28.9	Fe total
	+ 46.4	
	- 65.5	CaO
	+ 86.8	
Rosex	- 9.8	SiO_2
	+ 12.4	
	- 15.0	Al_2O_3
	+ 34.9	
	- 23.6	Fe total
	+ 32.3	
	- 86.2	CaO
	+100.2	
Palaz	- 7.53	SiO_2
	+ 9.98	
	- 23.4	Al_2O_3
	+ 18.50	
	- 32.6	Fe total
	+ 23.4	
	- 69.86	CaO
	+103.90	

Tableau 7. – Dispersion à l'intérieur d'un même site.

différences relatives aux principaux oxydes, SiO_2, Al_2O_3 et Fe_2O_3 étant de 20 à 30% inférieures aux valeurs moyennes représentatives du lac de 450 m. Par contre, CaO a une valeur moyenne triple.

En résumé, les analyses chimiques montrent bien comment ont varié les conditions de sédimentation et, par suite, la nature des apports. *Pour un même horizon, même sur de petites distances,* les variations sont importantes, et dans l'ensemble, elles le sont aussi dans le temps, *toutefois avec de nombreuses répétitions de conditions antérieures.* Enfin on peut encore rappeler que la terre bleue, présente aux Troches et à Rosex, n'existe ni à la Palaz ni aux Terrailles.

5. Caractéristiques des terres jaunes et bleues de la région de Rosex du point de vue technologique

5.1 Granulométrie

En ce qui concerne la granulométrie des terres jaunes et bleues de la région de Corcelles, le choix s'est porté sur la composition moyenne de la formation à Rosex, lors de deux différentes périodes d'exploitation, ce site étant particulièrement représentatif (voir tableau 8).

Périodes d'exploitation (Terres jaunes)		1		2		1	2
Sable grossier	>0.2 mm	8.0					
	0.2 - 0.1	3.8					
	0.1 - 0.05	30.3	>0.05	42.1	35.0		
	0.05 - 0.02	6.7		6.7	10.5	>20μ 48.8	45.5
	0.02 - 0.01	6.8		6.8	3.8		
	0.01 - 0.005	5.3		5.3	11.8	20-2μ 21.1	24.7
	0.005 - 0.002	9.0		9.0	9.2		
	<0.002	30.1		30.1	29.8	<2μ 30.1	29.8

Périodes d'exploitation (Terres bleues)		1		2		1	2
Sable grossier	>0.2 mm	7.5					
	0.2 - 0.1	1.2					
	0.1 - 0.05	13.7	>0.05	22.4	19.5		
	0.05 - 0.02	8.6		8.6	8.5	>20μ 31.0	28.0
	0.02 - 0.01	14.0		14.0	13.5		
	0.01 - 0.005	9.3		9.3	11.1	20-2μ 34.6	39.6
	0.005 - 0.002	11.3		11.3	15.0		
	<0.002	34.4		34.4	32.4	<2μ 34.4	32.4

Tableau 8. – Compositions granulométriques des terres jaunes et bleues de la région de Rosex pour deux différentes périodes d'exploitation (1, 2).
N. B. Terres à tuiles et à briques ont été confondues, à l'exclusion des niveaux sablonneux.

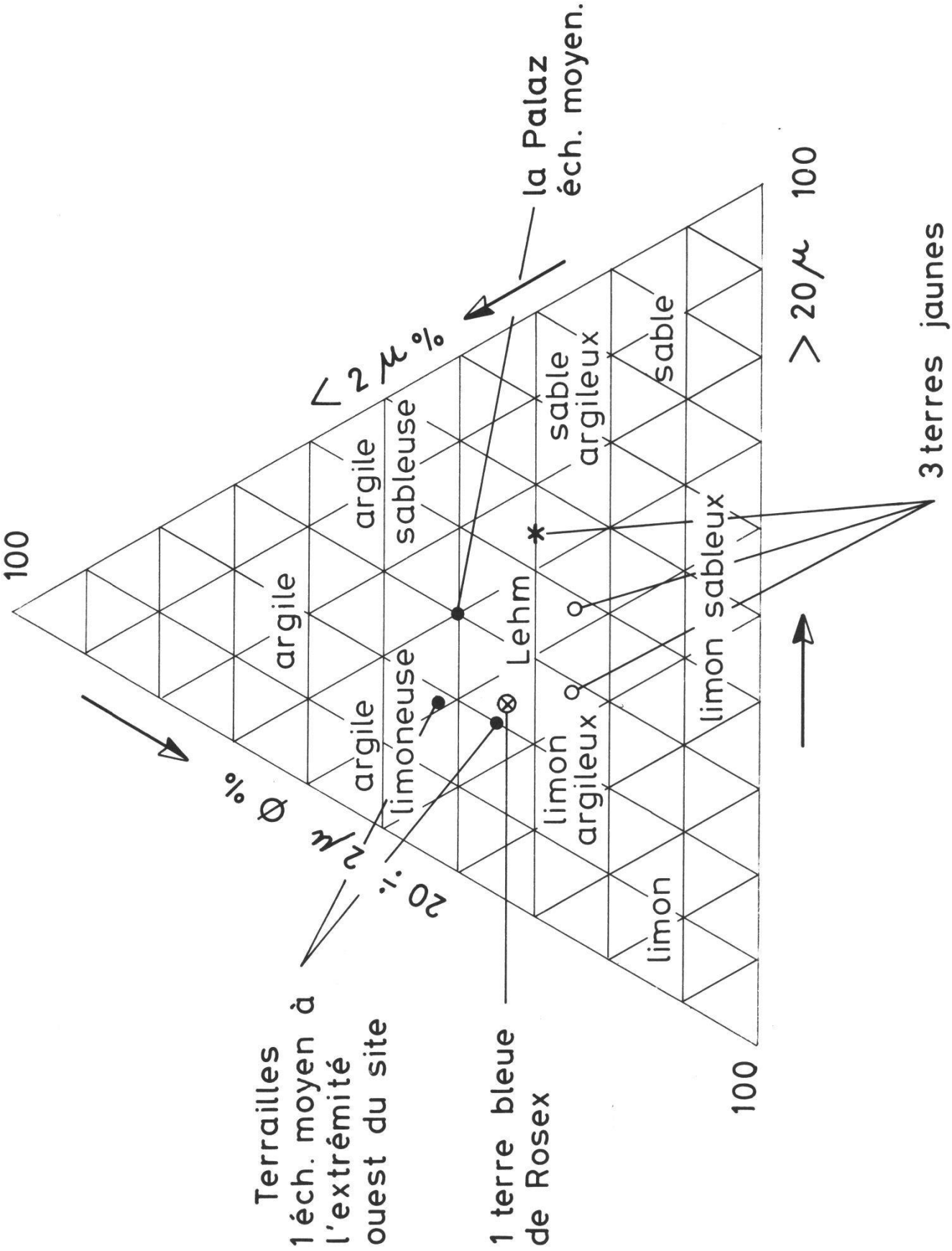


Figure 8. – En fonction de leur composition granulométrique, position dans le triangle de Winkler des différentes terres parmi les plus représentatives.

Il s'agit d'argiles sablonneuses et plus précisément de «lehms». La terre bleue a une fraction granulométrique inférieure à 2μ un peu plus importante que la terre jaune. Mais ce qui la différencie surtout, c'est une plus forte proportion de *«schluff»* (limon fin), comme l'indiquent les positions correspondantes dans le diagramme de Winkler (fig. 8). Pour comparaison, la composition de la formation des Terrailles en un point où les couches sont peu différenciées – le plus à l'ouest – et un échantillon de terres groupées du site de la Palaz ont également été représentées.

5.2 Courbes de retrait

Etant donné que sur le terrain les terres jaunes et bleues se présentent le plus souvent sous la forme de masses cohérentes et humides (et même tendres pour la terre bleue qui baigne dans la nappe), il n'est pas sans intérêt d'examiner le processus de dessiccation, soit les courbes de retrait correspondantes (terres des prés de Rosex, fig. 9).

Pour une teneur en eau d'imbibition de l'ordre de 30% par rapport au poids de matière sèche (ce qui correspond pour les terres en question à une pâte «normale» du point de vue technologique), les retraits sont déjà importants (ces derniers étant comptés par rapport aux dimensions de l'éprouvette de terre sèche).

Une fraction granulométrique bien développée dans le domaine des limons fins *(schluff),* de même qu'une phase argileuse constituée principalement d'illite et d'interstratifiés, sont à l'origine de ces retraits, donc aussi par conséquent de la quantité d'eau d'imbibition qui caractérise la pâte normale.

De même le fait que le processus de retrait persiste pratiquement jusqu'à la fin du séchage est aussi bien typique du système argile plus eau qui caractérise les terres en question. Etant donné la composition minéralogique, il faut en effet compter avec une quantité d'eau plus ou moins liée à la surface des particules déjà assez importante. D'autre part, étant donné la proportion des minéraux majeurs et les fractions granulométriques correspondantes, les forces d'attraction capillaires peuvent ne pas être négligeables pour les teneurs en eau qui correspondent à l'eau d'interposition.

5.3 Plasticité et déformabilité

Toujours pour comparer les terres jaunes et bleues, l'indice de plasticité est aussi utile; il permet de donner une valeur à un facteur de synthèse représentatif de plusieurs variables groupées avec leurs incidences respectives. Quant au choix des échantillons, il a principalement été effectué de manière à obtenir une différence de comportement significative.

L'indice de plasticité se détermine au moyen des limites d'Atterberg pour deux états opposés de cohésion.

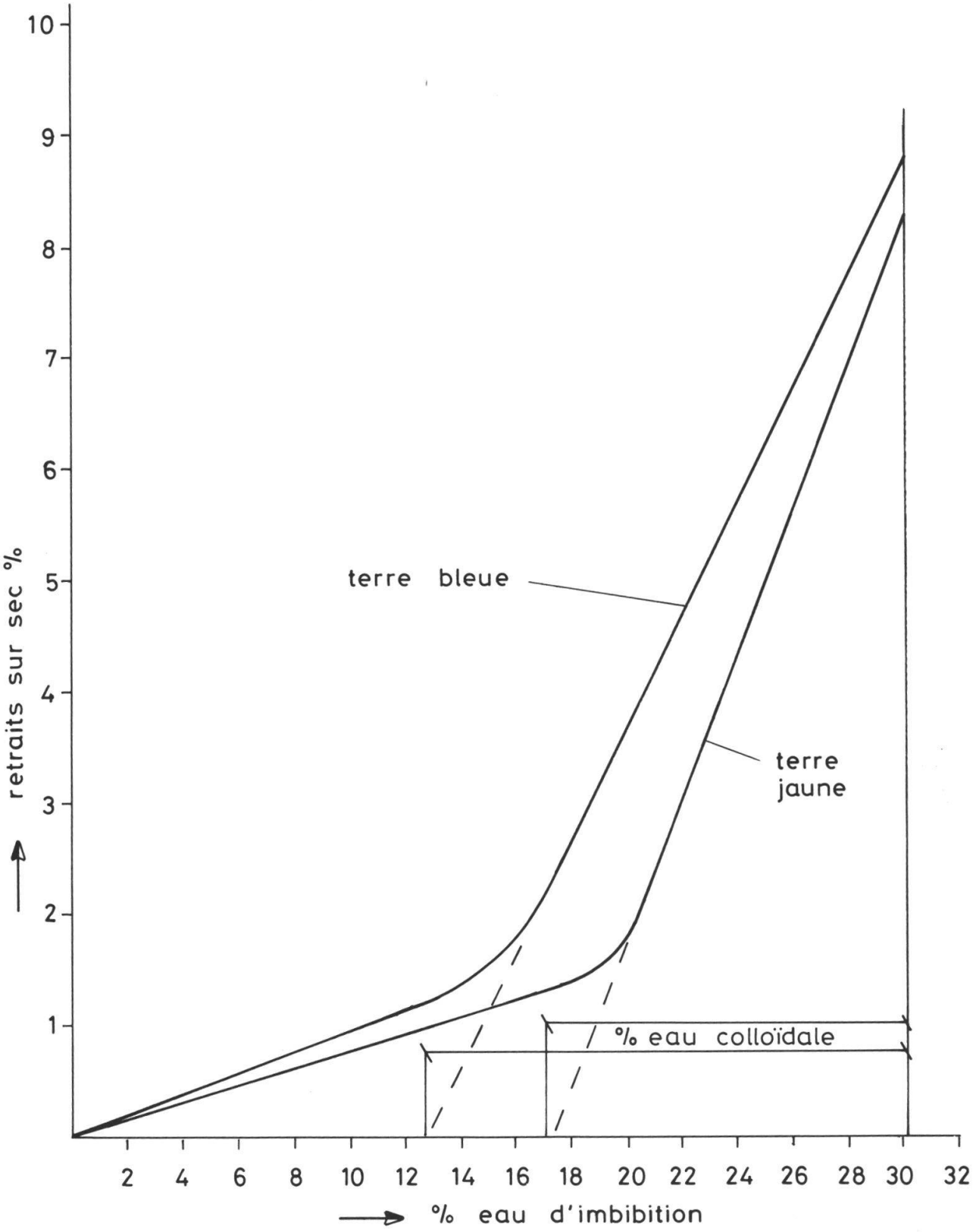


Figure 9. – Courbe de retrait au séchage des terres jaunes et bleues du site de Rosex.

Limite supérieure de plasticité

On l'obtient avec l'appareil de Casagrande, dont la partie essentielle consiste en une coquille métallique que l'on remplit d'argile à l'état de pâte molle; une fente est ouverte dans cette pâte au moyen d'une spatule appropriée. Pour différentes teneurs en eau, on compte alors le nombre de battements nécessaires pour que la coquille tombant d'une hauteur de 1 cm occasionne la jonction des bords opposés de la fente sur une longueur de 1 cm. On note la teneur en eau qui correspond à 25 battements (fig. 10).

Limite inférieure de plasticité

Il s'agit de la teneur en eau pour laquelle la pâte argileuse cesse d'être plastique et cohérente pour devenir cassante. On l'obtient par pétrissage et formations successives de «colombins».

Indice de plasticité

C'est la différence des teneurs en eau relatives aux deux limites supérieure et inférieure (% H_2O).

	Limite sup.	Limite inf.	Indice de plasticité
Terre jaune	60	25,6	34,4
Terre bleue	41,2	21,3	19,9

La terre bleue perd ainsi toute cohésion plastique pour une teneur en eau bien inférieure à celle de la terre jaune. Par suite, l'écoulement plastique de la terre bleue est plus facile que celui de la terre jaune (fig. 11). Pour une même teneur en eau, la pression nécessaire à l'écoulement plastique au travers d'une filière est en effet plus faible pour la terre bleue que pour la terre jaune (déformabilité plus facile). A ce propos, il faut remarquer que les propriétés rhéologiques d'une terre ne dépendent pas seulement de la phase argileuse (système argile plus eau), comme on a parfois tendance à l'admettre, mais aussi de la phase sablonneuse (granulométrie et proportion) et de la quantité de calcaire. Toutes choses égales par ailleurs, le limon fin, en particulier, diminue la consistance. Pour une même proportion de la phase argileuse proprement dite et pour une même contrainte, l'addition de limon fin n'a pas la même influence qu'une même quantité de sable grossier: le limon fin ayant pour effet d'abaisser la résistance au cisaillement *(Scherfestigkeit)*, les déformations sont plus importantes. En ce sens, l'indice de plasticité de la terre jaune indique seulement que cette terre reste plastique pour une différence plus importante de teneur en eau.

Quant aux teneurs en eau pour lesquelles les terres cessent d'être plastiques, elles sont assez voisines, la valeur qui caractérise la terre bleue étant à mettre en relation avec l'influence des matières organiques (d'où l'importance correspondante des pertes au feu (voir tableau 2).

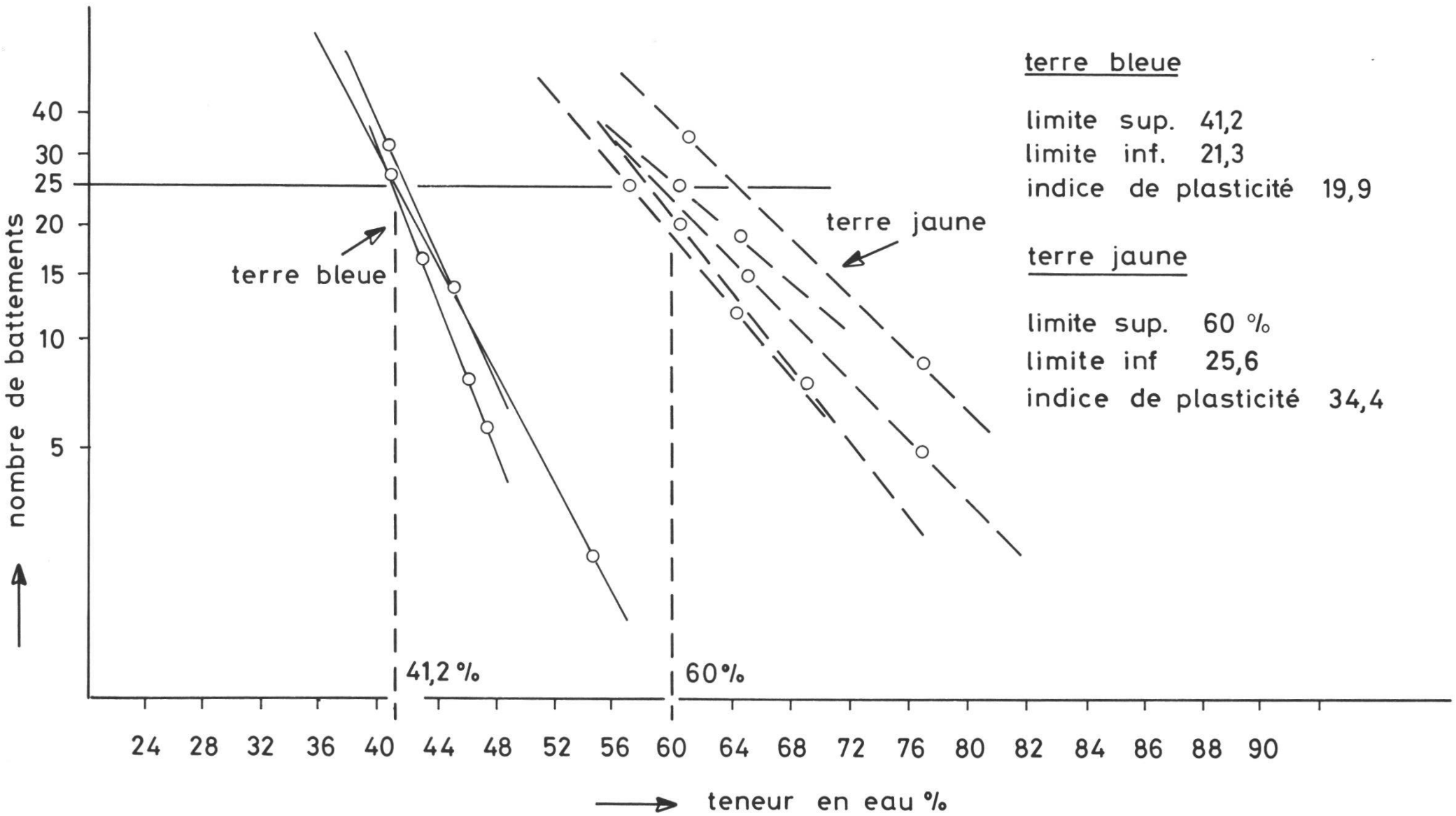


Figure 10. – Détermination de la limite supérieure de plasticité (terres jaunes et bleues de la région de Rosex).

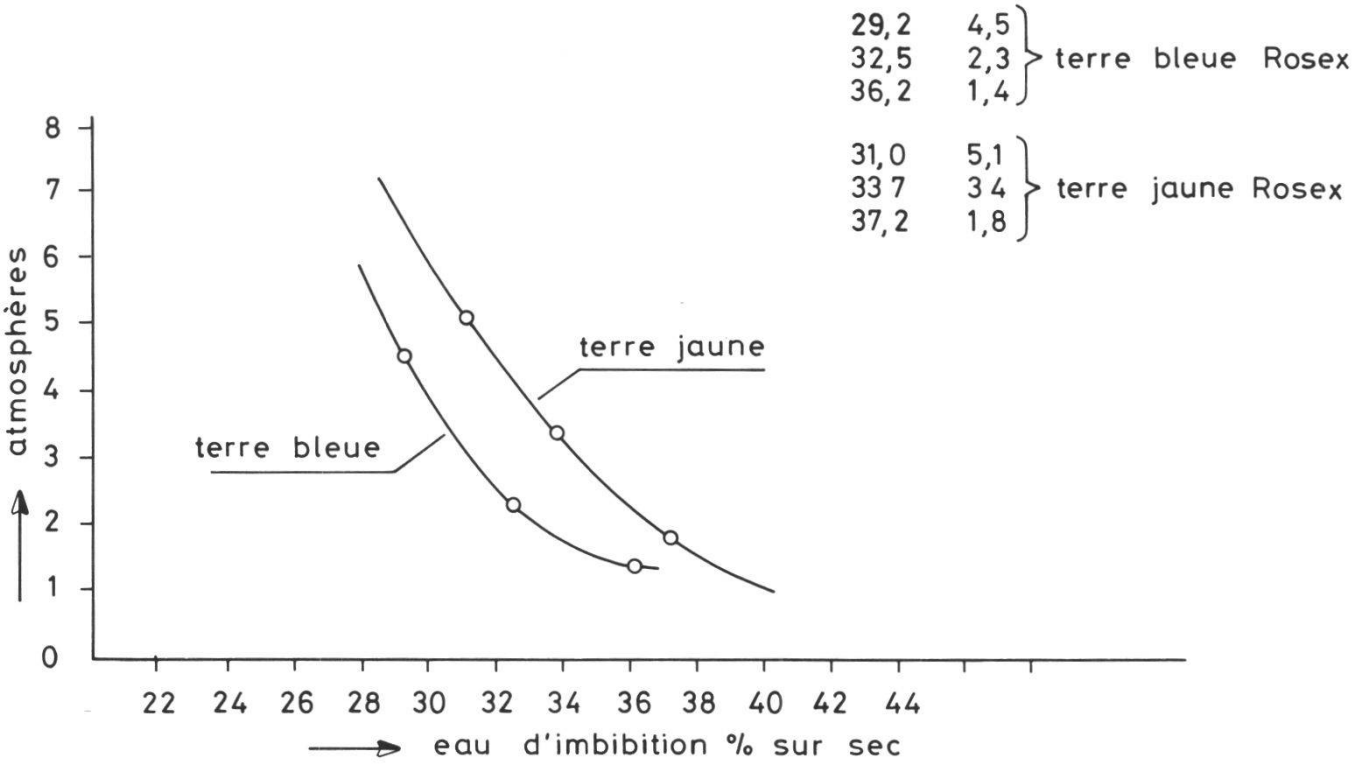


Figure 11. – Pression nécessaire à provoquer le début de l'écoulement plastique au travers d'une filière pour différentes teneurs en eau d'imbibition (terres jaunes et bleues de la région de Rosex).

6. Aspects d'ordre technologique et corrélations

6.1 Tentatives de corrélations

Sur la base de l'ensemble des données technologiques (tableau 9) et compte tenu d'un nombre non négligeable d'analyses chimiques relatives à chaque site, il était intéressant de voir si l'on pouvait établir des corrélations entre les divers paramètres, et ce pour les principaux sites, soit Troches, Rosex et Palaz. Après traitement sur ordinateur des différentes variables, on a obtenu un certain nombre de corrélations valable pour chaque site. A partir des points obtenus pour chaque type de corrélation, la droite de régression qui en résulte concrétise, avec sa pente, le degré de corrélation de même que la possibilité de comparer un site à l'autre. On voit ainsi que, pour certaines relations, le degré de corrélation varie d'un site à l'autre. Cela peut s'interpréter par le fait que pour une même température de cuisson, l'évolution d'un paramètre par rapport à un autre a pu se faire de façon non perturbée, la dispersion de certaines valeurs de la composition dans son ensemble, avant cuisson, pouvant au contraire avoir pour effet de diminuer le degré de corrélation.

C'est aussi pour cette raison que, dans la mesure du possible, on a essayé de comparer d'un site à l'autre un même type en corrélation.

6.2 Résultats (voir diagrammes 1 à 25)

Retrait sur sec – retrait sur cuit (diagrammes 1–3, planche 1).

Si cette corrélation peut paraître évidente, on peut noter cependant qu'elle intéresse des domaines d'extension variable. Ainsi, la plus grande dispersion dans la qualité des terres de Rosex se retrouve ici avec les plus grandes différences de retrait.

Dureté – retrait sur cuit (diagrammes 4–6, planche 1)

La corrélation n'est valable que pour Rosex et Palaz, et manifestement meilleure pour Palaz. Pour ce dernier site, cela correspond à la présence d'une phase argileuse bien répartie dans l'ensemble de la formation, les variations étant dès lors directement proportionnelles à celles des minéraux majeurs.

Al_2O_3 – retrait sur cuit (diagrammes 7–9, planche 1)

A propos de la dispersion des différents oxydes d'un site à l'autre, on a déjà vu que c'est le site des Troches qui était caractérisé par la plus forte dérive positive de Al_2O_3. En l'occurrence, la corrélation joue exactement dans le même sens, les points groupés étant le fait d'un complexe localement plus argileux.

Dureté – calcite (diagrammes 10–11, planche 2)

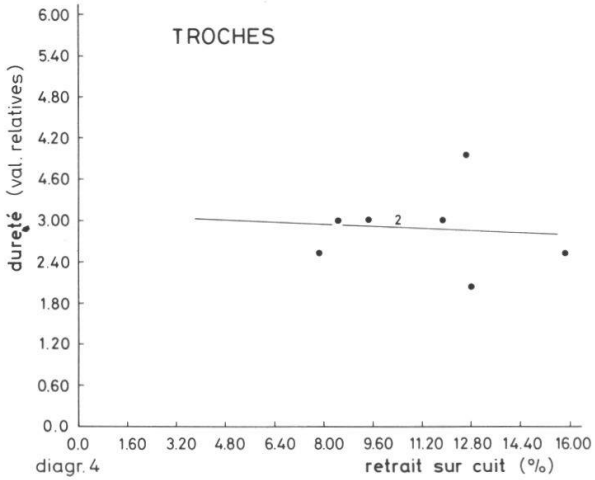
Si la relation est intéressante, elle est toutefois classique et ordinaire *pour des tessons qui ne sont pas surcuits.* En effet, la calcite ayant pour conséquence d'augmenter la porosité, la dureté diminue. Une pente plus forte de la droite de régression pour la Palaz est de nouveau l'indice d'une plus forte proportion d'argile.

H_2O absorption – calcite (diagrammes 12–14, planche 2)

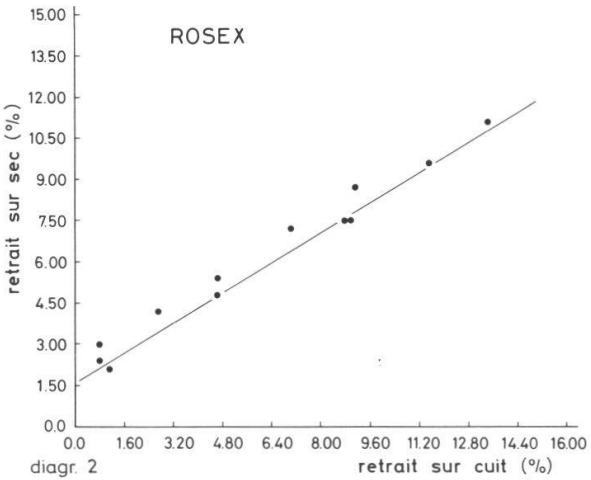
Cette corrélation est en somme fonction de la précédente, puisque si l'absorption augmente, la porosité augmente aussi et donc la dureté diminue. Pour les différents sites, une même augmentation de la calcite n'a pas le même effet sur le degré d'absorption. Cela est imputable au fait que pour une même proportion de calcite, l'absorption peut être différente, étant donné des processus de recristallisation qui diffèrent en cours de cuisson, d'où des configurations variables (influence de la granulométrie et de la proportion des autres minéraux majeurs).

SiO_2 – absorption H_2O (diagrammes 15–17, planche 2)

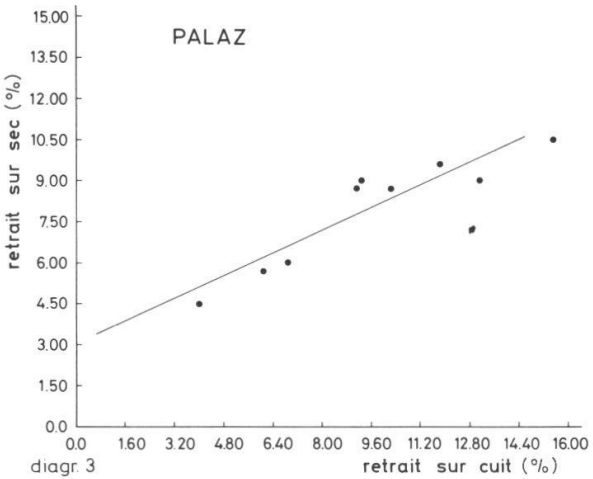
Avec SiO_2 – absorption, on voit que si l'absorption commence à varier à partir de pourcentages de SiO_2 assez voisins, la pente de la variation, elle,



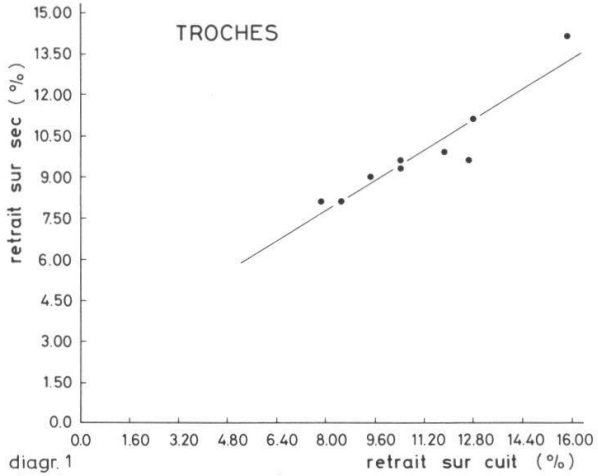
diagr. 4



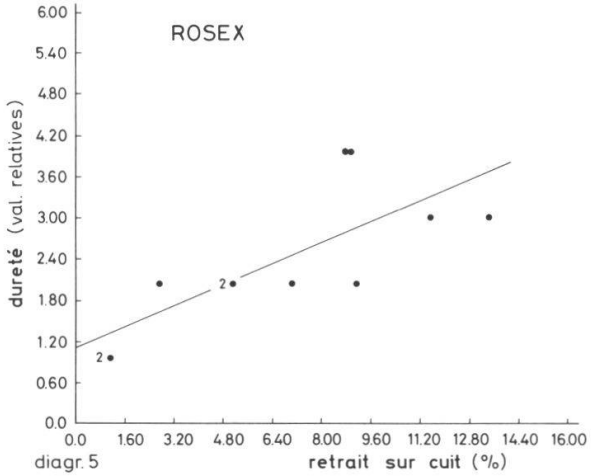
diagr. 2



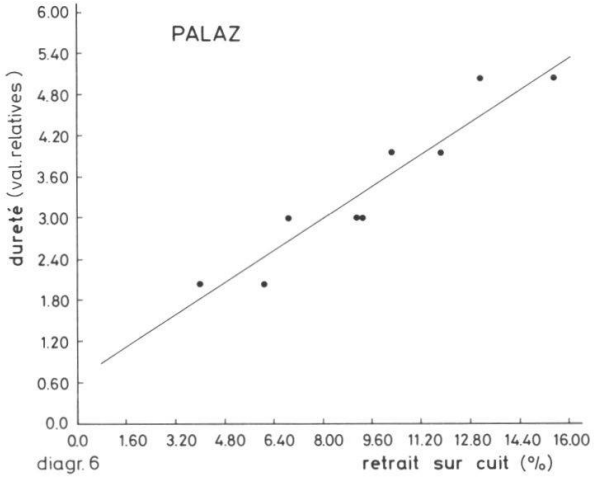
diagr. 3



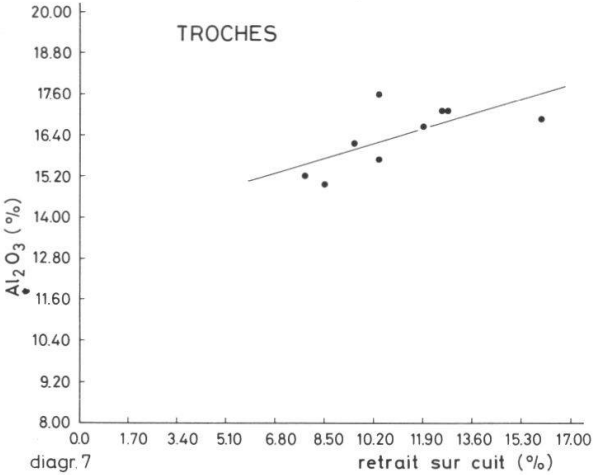
diagr. 1



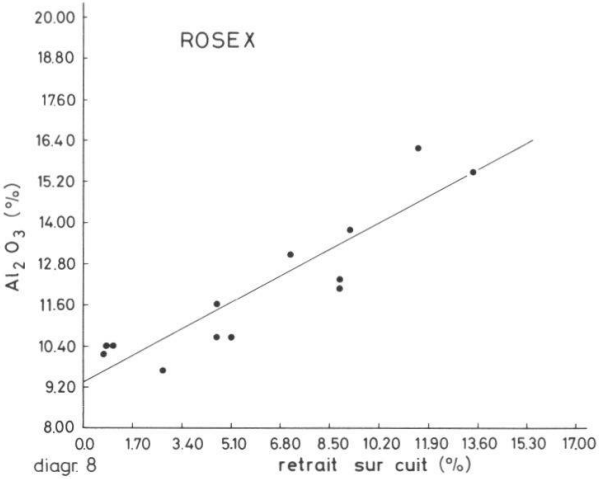
diagr. 5



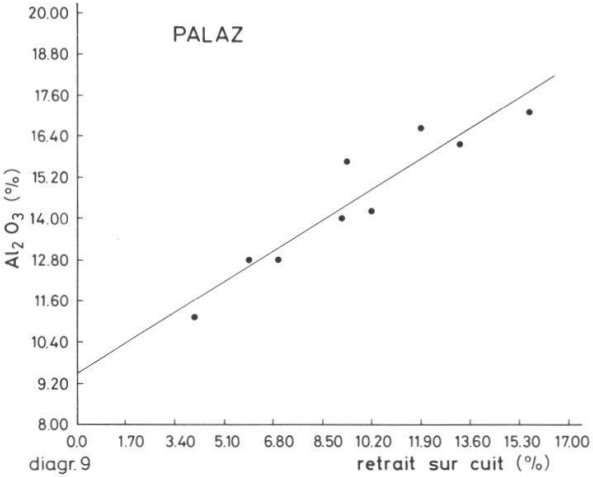
diagr. 6



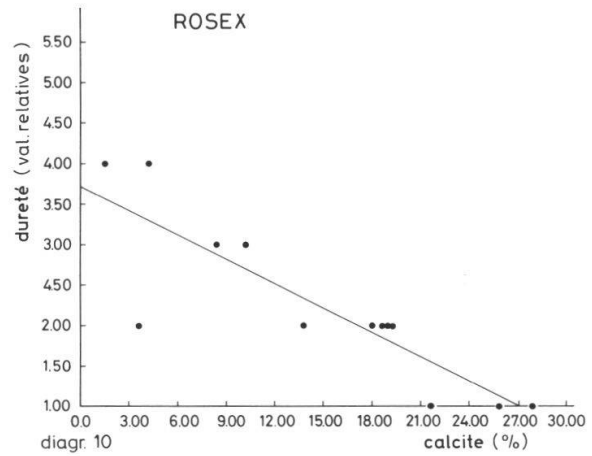
diagr. 7



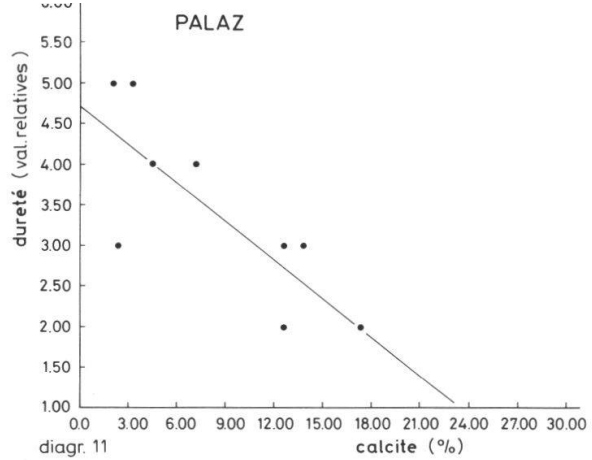
diagr. 8



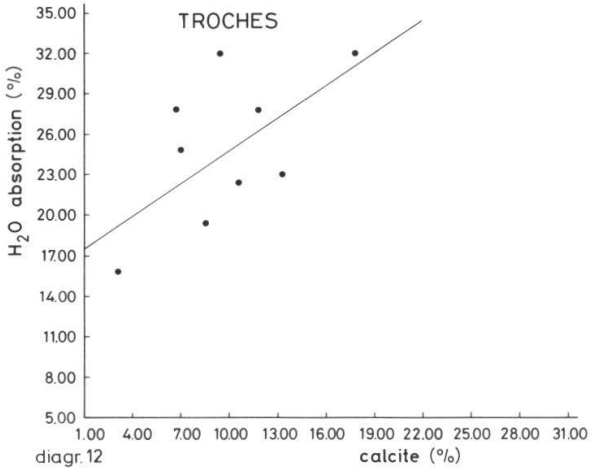
diagr. 9



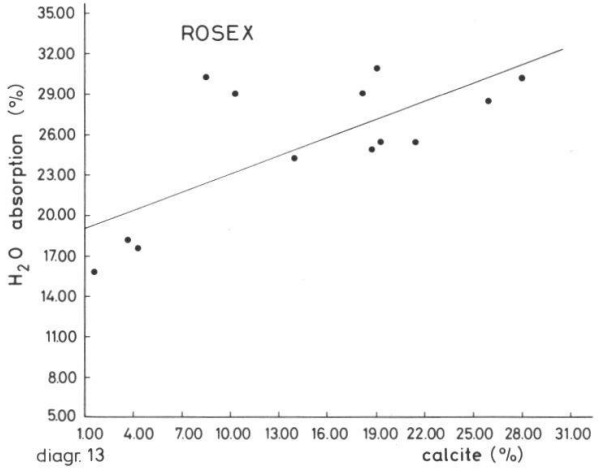
diagr. 10



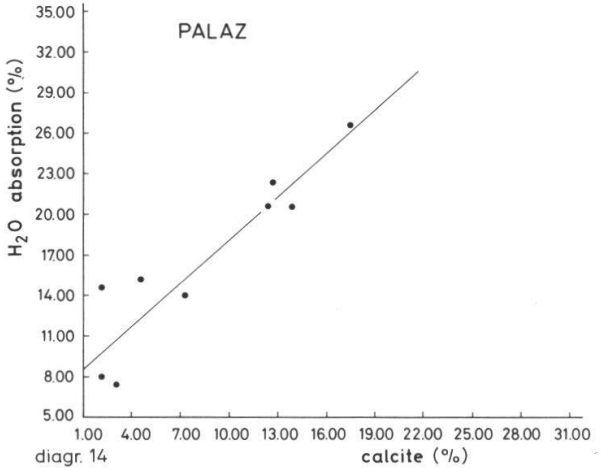
diagr. 11



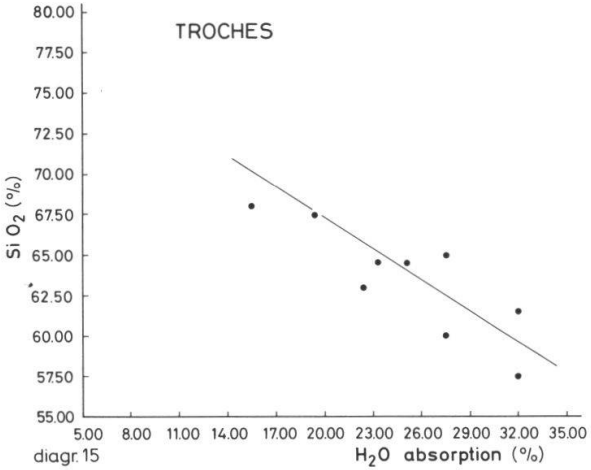
diagr. 12



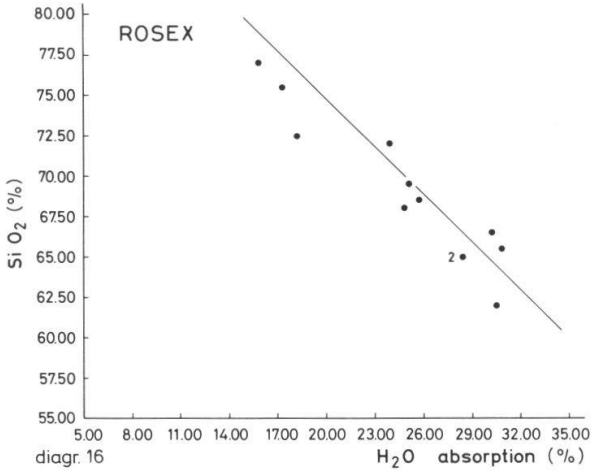
diagr. 13



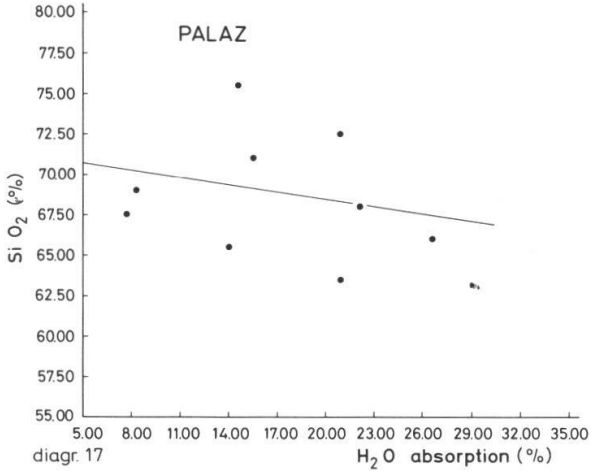
diagr. 14



diagr. 15

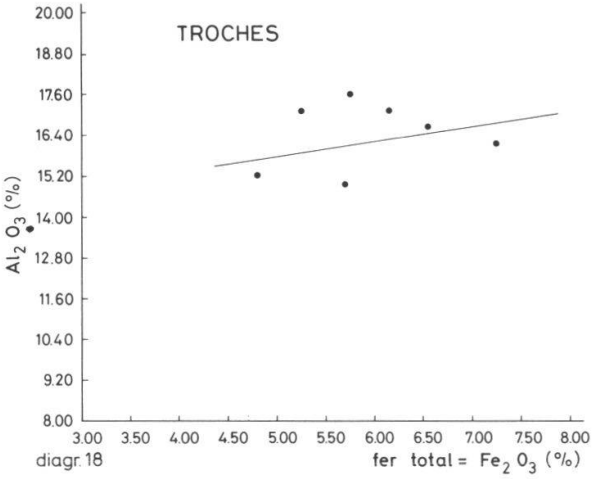


diagr. 16

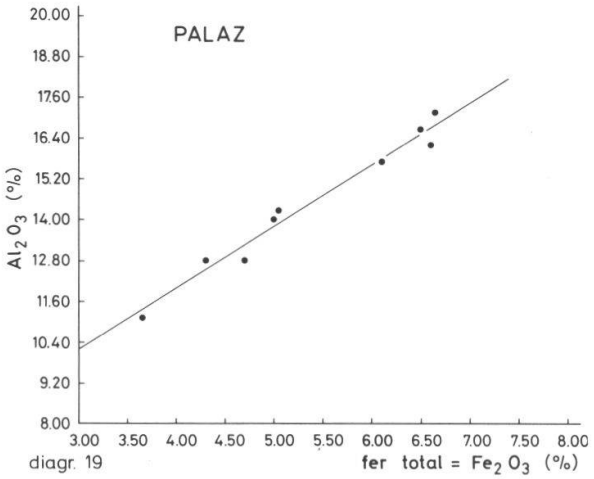


diagr. 17

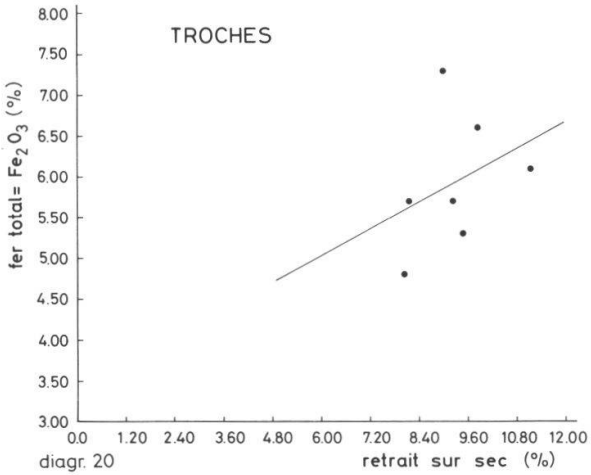
Planche 2: diagrammes 10 à 17.



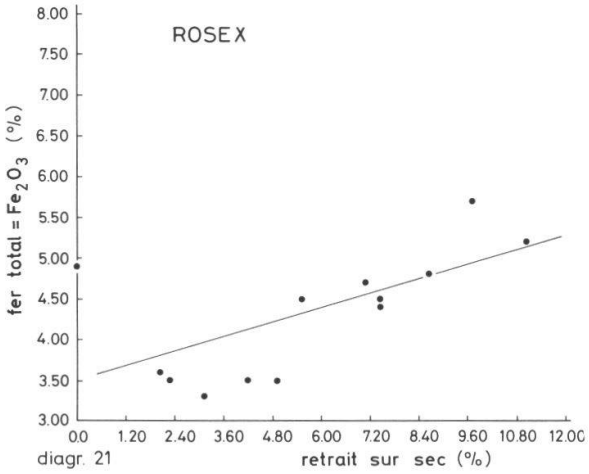
diagr. 18



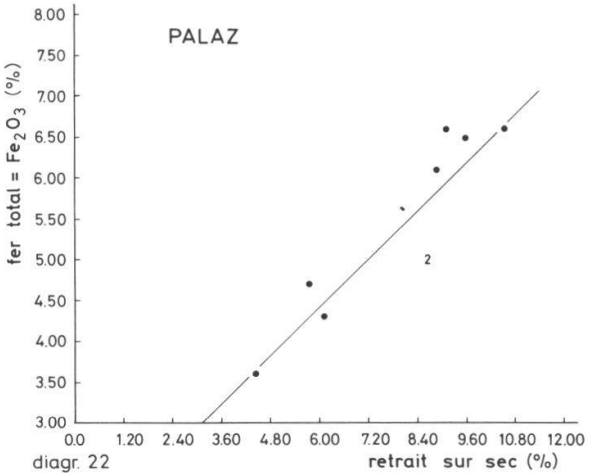
diagr. 19



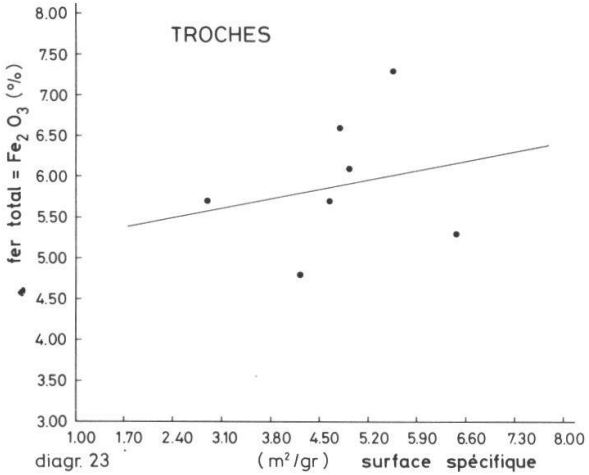
diagr. 20



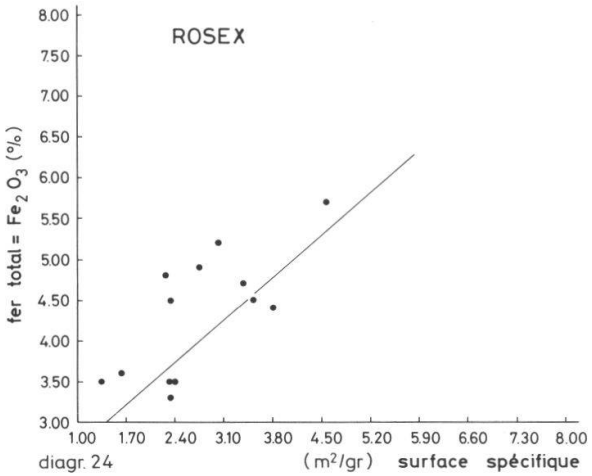
diagr. 21



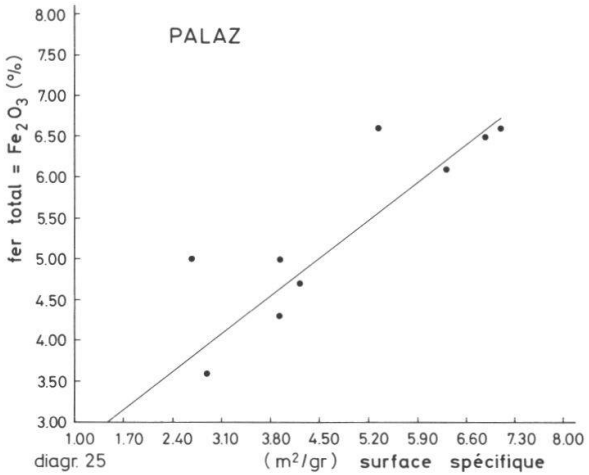
diagr. 22



diagr. 23



diagr. 24



diagr. 25

diffère beaucoup. Chose intéressante, si pour Rosex l'absorption est d'allure diffuse en relation avec la calcite, la relation de l'absorption s'ordonne par contre avec SiO_2, l'inverse étant vrai pour la Palaz.

Il s'agit là d'une remarque susceptible d'être utile par analogie, étant donné qu'elle indique dans quel sens agir de manière préférentielle lorsqu'il est question de modifier les caractéristiques d'un tesson.

Un autre point par ailleurs mérite aussi d'être relevé, à savoir que, dans un complexe sablonneux, une augmentation de SiO_2 peut ne pas correspondre à celle de l'absorption, l'image porologique étant fonction à la fois de la dimension et du nombre des pores et, par suite, de l'interaction des différents minéraux dans leur ensemble.

Al_2O_3 – Fer total (Fe_2O_3) (diagrammes 18–19, planche 3)

Pour les Troches, pour Al_2O_3 de même d'ailleurs que pour la plupart des autre corrélations, la localisation de la dispersion confirme qu'il s'agit là d'une formation plus particulièrement homogène.

Pour la Palaz, il n'est pas étonnant que Fe_2O_3 augmente avec Al_2O_3, la goethite et le fer lié à la chlorite étant directement fonction de l'importance de la phase argileuse.

Fer total (Fe_2O_3) – retrait sur sec (diagrammes 20–22, planche 3)

Il s'agit d'une corrélation à mettre directement en parallèle avec la relation Al_2O_3 – retrait sur cuit.

A ce propos, on peut remarquer que, dans ce cas également, c'est le site de Rosex qui est caractérisé par la plus grande dispersion, chose qui ne fait que confirmer ce que l'on a vu déjà lors de la description des différentes couches de la formation.

Fer total (Fe_2O_3) – surface spécifique, soit m^2/g en éprouvettes de terre sèche (diagrammes 23–25, planche 3)

Cette corrélation n'est pas sans analogie avec la relation Al_2O_3 – retrait sur cuit.

Il s'ensuit que l'augmentation de la surface spécifique est alors effectivement fonction de la phase argileuse. Toutefois, en relation avec le tesson, rien de bien significatif, du fait des réarrangements consécutifs à la nouvelle minéralisation.

6.3 Remarques

L'examen des corrélations pour les différents sites a permis de montrer que les paramètres s'influencent l'un l'autre de la même manière, tandis que ce sont les proportions relatives de Al_2O_3, SiO_2 et $CaCO_3$ qui, directement ou indirectement, donnent à chaque corrélation son caractère spécifique.

Pour une approche typologique des tessons, les terres étant *issues d'une même formation géologique,* Al_2O_3 est une mesure de la phase argileuse, SiO_2 de la phase sablonneuse et $CaCO_3$ de la calcite, évidemment. La pente de la droite de régression et sa position sont deux points cependant importants puisqu'ils permettent de savoir comment et de combien varie un paramètre par rapport à un autre.

Ainsi, pour la Palaz par exemple, on peut remarquer que toutes les corrélations caractérisées par une droite de régression ascendante *ont pratiquement la même pente.* On peut en conclure que la phase argileuse est d'une qualité telle que, pour chaque addition de SiO_2 ou $CaCO_3$, elle réagit au feu en accord avec les modifications pondérales, sans réactions parasites ayant pour effet d'augmenter le degré de dispersion. De ce point de vue, et quant à ses conséquences pratiques, on peut d'ailleurs mentionner que lors de l'exploitation des terres du site de la Palaz, il s'agissait d'une formation dont les différentes couches permettaient le mieux, *par mélange,* de garantir des qualités de tessons bien définies.

Pour terminer, une remarque doit encore être faite en ce qui concerne certaines corrélations «tous sites confondus», à savoir les corrélations concernant les éléments présents sous forme de traces (ppm) d'une part, et l'ascension capillaire d'autre part.

A ce propos, on a pu remarquer les tendances suivantes:

- Lorsque Al_2O_3 et K_2O augmentent, Ni, Cr, V, Rb et Zn ont aussi tendance à augmenter.
- Lorsque c'est CaO qui augmente, Sr augmente également.
- Ba varie avec CaO, mais la corrélation est peu valable, étant donné une trop grande dispersion.
- Enfin, pour certains niveaux, et plus spécialement sur le site de la Palaz, l'ascension capillaire est faible si la quantité de $CaCO_3$ l'est aussi, mais à condition que les retraits soient eux-mêmes importants, ce qui, inversement, implique une phase sablonneuse peu importante. Corrélativement, l'absorption d'eau est également faible.

7. Méthodologie

7.1 Analyse chimique (fluorescence aux rayons X)

Spectromètre Philips PW 1400, anode Cr. Pour le dosage des éléments majeurs, 1,2 g de poudre calcinée (1050°C) ont été mélangés avec 5,7 g de Li-tétraborate (spectromelt A 10, Merck) et 0,3 g de LiF et fondue à 1150°C dans des creusets Pt/Au pendant dix minutes. Les pilules en verre ainsi obtenues ont été mesurées et la concentration des éléments majeurs calculée en utilisant des standards géochimiques usuels et les facteurs de correction α (Philips). Les traces ont été dosées sur des pastilles de poudre (4–5 g de poudre non calcinée avec quelques gouttes d'une solution de moviole). Les écarts-types des mesures se situent autour des 0,6% pour les majeurs et

nos échant. Co	couleur des terres	porosité totale ml/gr	surface spécifique m2/gr	retraits sur sec %	couleur du tesson	dureté du tesson	retraits sur cuit %	absorption % d'eau en poids	ascension capillaire cm/9h.	% en calcite
15	gris-jaune	0,10509	3,47	9,9	rouge brique	4	11,7	20,08	24,2	7,37
19	jaune-clair	0,16212	5,54	9,0	brun clair	3	9,5	31,90	22,9	17,68
20	jaune	0,14164	8,71	9,7	rouge brique	3	10,4	27,60	21,2	11,68
21	gris-noir	0,11866	4,37	14,1	rouge-brun	2-3	15,9	31,90	25,5	9,53
22	gris-jaune	0,15968	4,91	11,2	rose-rouge	2	12,8	27,60	26,3	6,83
23	gris-jaune	0,15020	4,76	9,2	rouge brique	3	11,9	25,10	24,6	6,94
24	gris-jaune	0,09229	2,86	8,2	rouge brique	3	8,5	19,40	16,1	8,50
25	gris-clair	0,11797	6,47	9,5	rouge brique	4	12,6	15,60	11,9	3,13
26	gris-jaune	0,11842	4,22	8,0	rose clair	2-3	7,9	23,20	19,1	13,35
27	gris-jaune	0,10273	4,64	9,3	rose	3	10,6	22,30	11,9	10,58
18*	----	0,11099	3,71	9,1	rose-rouge	3	9,8	24,90	21,2	9,32
1*	gris-jaune	0,12886	3,10	5,7	brun-rose	2	5,4	25,9	33,0	14,70
2	jaune clair	0,10997	2,34	5,5	brun-rose	2	4,6	30,9	34,5	18,90
3	jaune brun clair	0,06967	1,32	4,9	rose-rouge	2	4,6	24,0	34,8	13,78
4	jaune	0,11218	3,80	7,5	rouge brique	4	8,8	17,4	36,0	4,16
5	jaune	0,10496	3,55	7,4	rouge brique	4	8,9	15,7	39,0	1,60
6	----	0,07567	2,77	-	rose-rouge	2	5,1	24,8	34,8	18,75
7	jaune clair	0,07374	2,35	3,1	brun-rose	1	0,8	25,6	32,4	21,53
8	gris clair	0,07149	2,42	4,2	brun clair	2	2,7	25,2	29,4	19,21
9	bleu-noir	0,11555	3,04	11,0	rose-rouge	3	13,4	30,2	27,6	8,53
10	gris-jaune	0,14994	3,40	7,1	brun-rose	2	7,1	29,1	31,2	18,02
11	gris	0,16025	4,56	9,7	rose	3	11,5	29,1	22,8	10,28
12	bleu	0,08474	2,29	8,7	rouge brique	3	9,1	18,2	26,4	3,63
13	gris-bleu	0,07684	1,60	2,1	jaune brun clair	1	1,1	28,5	32,4	25,80
14	gris clair	0,14119	2,30	2,3	jaune brun clair	1	0,75	30,5	24,0	28,00
29	jaune	0,09508	7,12	9,1	rouge-brun foncé	5	13,2	8,20	3,0	2,12
30	jaune	0,08148	5,31	10,6	rouge-brun foncé	5	15,6	7,70	3,0	3,20
31	jaune	0,10195	6,31	8,9	rose-rouge	3	9,3	20,80	14,8	13,78
32	brun-clair	0,09164	6,90	9,6	rouge brique	4	11,9	14,00	10,6	7,32
33	jaune-brun clair	0,08403	3,93	8,7	rouge brique	4	10,2	15,50	22,0	4,53
34	jaune clair	0,13774	4,27	5,8	beige clair	2	6,0	26,50	30,4	17,38
35	jaune-brun clair	0,09724	3,96	6,1	rouge brique	3	6,9	14,70	32,2	2,34
36	jaune clair	0,09908	2,67	8,6	rose	3	9,1	22,20	25,5	12,63
37	jaune-brun clair	0,09444	2,87	4,5	beige	2	4,0	20,90	28,8	12,48
28*	jaune	0,10129	5,07	8,1	rose-rouge	3	8,6	16,90	19,1	9,45
16	gris clair	0,11073	2,48	2,5	gris-beige clair	1	1,05	30,08	40,0	37,50
17	gris clair	0,13474	4,44	5,7	jaune clair	2	5,80	27,25	29,3	30,52

* = mélange des terres

Terr = Terrailles Tr = Troches Ro = Rosex P = Palaz F = Fétigny

Remarques : A noter principalement les variations en % de calcite et leur influence sur les autres caractéristiques.

Tableau 9. – Principales caractéristiques des terres et des tessons du point de vue technologique.

0,9% pour les traces. Le Fe-II a été dosé photométriquement après mise en solution par attaque de H_2SO_4:HF 1:1 (50 mg de poudre non calcinée) sous vapeur d'eau et complexation avec 2,2′-Bipyridine.

7.2 Rayons X

Analyse de la roche totale (poudre) par diffraction aux rayons X (CuKα). Les minéraux argileux ont été identifiés sur des préparats orientés (normal, cuit 550° C/1 h, glycolé).

7.3 Calcite

Dosage du Ca^{2+} et Mg^{2+} par titration EDTA.

7.4 Porosimétrie (fragments d'éprouvettes moulées non cuites)

Porosimètre à mercure (0–2000 atm), C. Erba (Milan). Poids des échantillons: 1,4 – 2,0 g. Dépouillement des courbes avec un programme du Dr Kahr, de l'EPFZ (porosité totale, porosité micro, porosité macro, surface spécifique, courbes des distributions des rayons des pores).

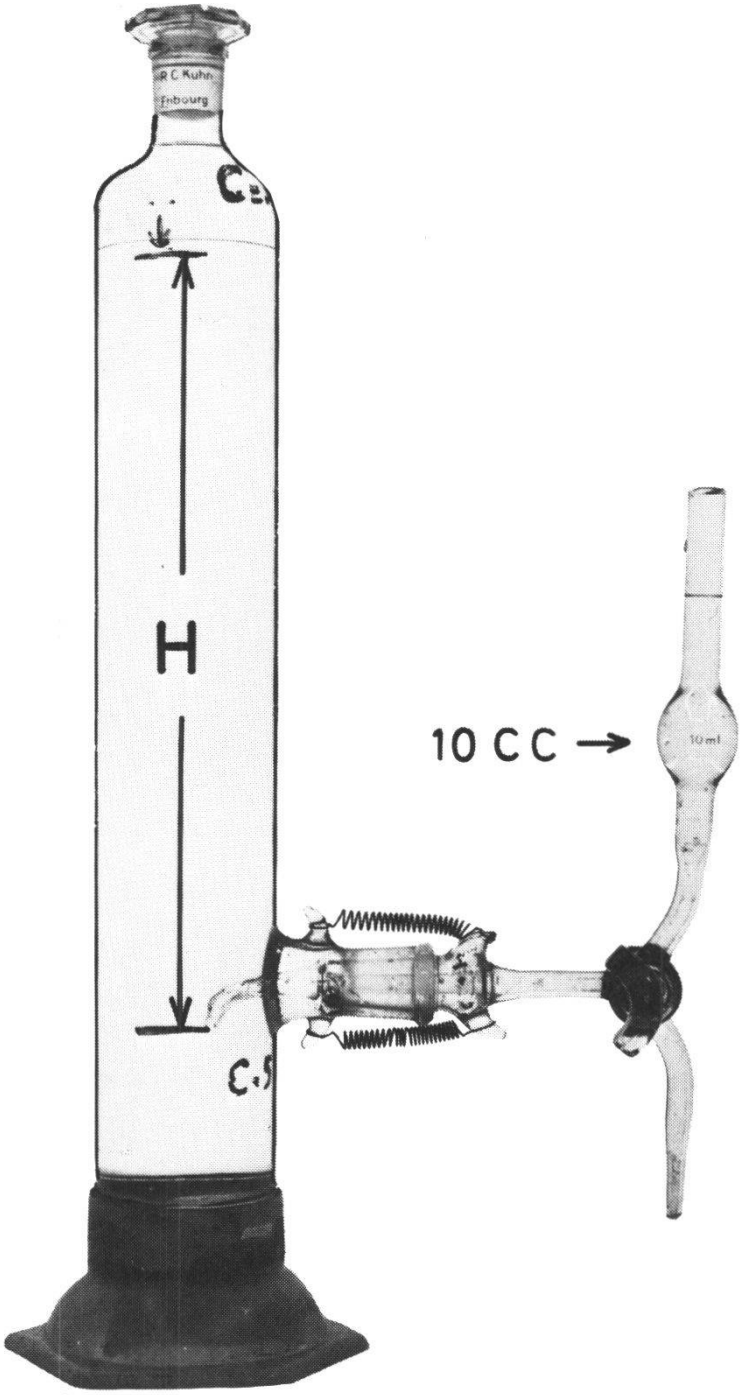


Figure 12. – Cylindre utilisé pour la détermination de la granulométrie par sédimentation.

7.5 Détermination de la composition granulométrique

La méthode utilisée a été celle de la sédimentation par application de la formule de Stokes dans un système polydispersé pondéralement connu et de volume déterminé. En fait, il s'agit de l'utilisation d'une pipette d'Andreasen modifiée, les différentes fractions granulométriques étant obtenues à partir de mêmes prélèvements successifs à des intervalles de temps croissants, en fonction de la vitesse de chute décroissante des particules dont le diamètre, pour une même hauteur de chute (h), diminue progressivement. La pesée des différents prélèvements après dessication permet de déterminer directement le pourcentage des différentes fractions granulométriques (fig. 12).

Remerciements

Tout d'abord, nous exprimons notre gratitude à la direction du laboratoire de minéralogie de l'Université de Fribourg, qui a bien voulu que certains moyens puissent être mis à notre disposition, de même que plusieurs collaborateurs. C'est ainsi que nos remerciements doivent aller en particulier à M. Charrière pour les dessins et les analyses porosimétriques, à Mme Marbacher pour la préparation des analyses chimiques et à Mlle Michel pour les dosages de la calcite.

8. Littérature

Aubouin J., Brousse R., Lehmann J. P., 1968. – Précis de géologie. Tome 1, Pétrologie. Dunod, Paris, 712 pages.

Brownell W. E., 1976. – Structural clay Products. Springer-Verlag, Wien, New York, 231 pages.

Jouenne C. A., 1975. – Traité de céramiques et matériaux minéraux. Editions Septima, Paris, 657 pages.

Millot G., 1964. – Géologie des argiles. Masson & Cie éditeurs, 120, boulevard Saint-Germain, Paris VIe, 499 pages.

Moos von A., 1938. – Geotechnische Eigenschaften und Untersuchungsmethoden der Lockergesteine. Erdbaukurs der E.T.H., Herausgegeben vom Institut für Erdbauforschung.

Niggli P., 1938. – Zusammensetzung und Klassifikation der Lockergesteinte. Erdbaukurs der E.T.H., Herausgegeben vom Institut für Erdbauforschung.

Peters T., 1969. – Tonmineralogie einiger Glazialablagerungen im schweizerischen Mittelland. *Eclogae geol. Helv., 62.2:* 517-525.

Rumeau J. L., 1954. – Géologie de la région de Payerne. Crépin-Leblond et Cie éditeurs, Paris, 108 pages.

Schmidt H., 1978. – Réaction de matières premières argileuses pendant la cuisson – Résultats obtenus au Laboratoire d'essais thermiques. *Ziegelindustrie, Bauverlag, Wiesbaden, Heft 7:* 359-370.

Vernet J. P., 1959. – Etudes sédimentologiques et pétrographiques des formations tertiaires et quaternaires de la partie occidentale du Plateau suisse. *Eclogae geol. Helv., 51:* 1115-1152.

Wilson H., 1927. – Ceramics clay technology. McGraw-Hill Book company, Inc., New York and London, 296 pages.

Manuscrit reçu le 26 mars 1986.