

Sonderdruck aus „Bayerische Vorgeschichtsblätter“ 39 (1974)

Recherches techniques sur les céramiques de Westerndorf et Pfaffenhofen

Von Maurice Picon, Lyon

Depuis quelques années l'Unité de Recherche Archéologique n° 3 du Centre de Recherches Archéologiques du C.N.R.S. (auparavant Laboratoire du C.E.R.G.R.) poursuit à Lyon une série de travaux de laboratoire sur les céramiques sigillées. Les objectifs que nous cherchons à atteindre sont variés mais peuvent être regroupés selon deux orientations majeures qui sont d'une part la connaissance des techniques antiques et leur évolution¹, d'autre part la détermination de la provenance des céramiques d'après les caractéristiques de leur pâte. C'est au cours de recherches se situant dans cette seconde perspective que nous avons été amenés à nous intéresser aux productions des ateliers de Westerndorf et de Pfaffenhofen². Nous devons à l'amabilité de Monsieur le Dr. H.-J. KELLNER d'avoir pu aborder les questions relatives à ces deux ateliers de Bavière; qu'il veuille bien trouver ici l'expression de notre gratitude.

1. Composition des céramiques de Westerndorf et Pfaffenhofen

Les analyses ont été effectuées par fluorescence X sur des prélèvements de quelques centaines de milligrammes dilués dans un fondant³. On a déterminé les pourcentages de huit constituants principaux, dans des conditions identiques à celles qui ont été employées pour l'analyse de plusieurs milliers d'autres tessons de céramique sigillée servant de base au système de détermination des provenances dont nous achevons la mise au point. Le procédé expérimental a été simplifié à l'extrême afin de permettre un plus grand nombre d'analyses. Nous avons dû pour cela négliger un certain nombre de corrections de dosage, ce qui peut entraîner une erreur systématique d'étalonnage d'environ trois pour cent (valeur relative), dans le cas de compositions très marginales par rapport aux compositions moyennes du groupe étudié. En fait, les exemples de telles compositions marginales sont fort rares, mais les céramiques que nous étudions ici appartiennent à cette catégorie et sont même à ce point de vue parmi les plus caractéristiques de toutes celles que nous connaissons; nous reviendrons sur ce point. Les pourcentages obtenus sont les suivants:

Atelier de Westerndorf

N° d'analyse	CaO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO
1	0.8	8.45	1.03	4.30	55.2	23.1	3.60	0.072
2	0.9	8.45	1.01	4.50	54.4	23.1	3.80	0.076

¹ M. Picon, Introduction à l'étude technique des céramiques sigillées de Lezoux, Dijon (1974).

² H.-J. Kellner, Die Sigillatöpfereien von Westerndorf und Pfaffenhofen, Stuttgart (1973) et bibliographie jointe.

³ M. Picon, M. Vichy et E. Meille, Composition of the Lezoux, Lyon and Arezzo samian ware, *Archaeometry* 13, 1971, 191-208. - M. Picon et coll., Composition of La Graufesenque, Banassac and Montans terra sigillata, à paraître dans *Archaeometry* 17, 1975. - M. Picon, Un système de détermination de la provenance des céramiques antiques: les céramiques sigillées gallo-romaines, Communication au 2nd International Symposium of Ceramics, Bologne, 1974, à paraître dans *La Ceramica e Ceramurgia*.

N° d'analyse	CaO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO
3	0.9	9.05	1.00	4.35	55.4	23.6	3.60	0.070
4	1.0	8.05	0.98	4.60	55.4	23.6	4.10	0.060
5	1.3	8.30	0.99	4.65	53.6	24.2	4.05	0.062
6	1.0	8.25	0.99	4.50	55.6	23.6	3.80	0.068
7	1.0	8.25	1.01	4.25	56.8	22.8	3.55	0.070
8	1.2	8.40	1.01	4.60	54.8	23.9	3.35	0.062
9	0.8	8.60	1.01	4.50	54.4	23.9	3.75	0.068
10	1.4	8.05	1.01	4.45	56.0	23.4	4.00	0.068
11	1.0	10.40	1.06	4.55	50.0	25.2	3.80	0.086
12	1.0	8.80	1.06	4.25	54.4	24.4	3.95	0.064

Atelier de Pfaffenhofen

N° d'analyse	CaO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO
1	1.3	9.30	1.03	4.45	54.0	25.0	3.70	0.074
2	1.1	9.10	1.05	4.50	52.2	25.0	3.90	0.066
3	1.6	7.35	0.97	4.15	59.1	22.6	3.65	0.064
4	1.5	10.20	1.06	3.95	50.7	25.6	3.80	0.236
5	3.0	9.40	0.97	4.70	49.6	23.8	4.25	0.094
6	6.9	8.65	1.01	4.00	48.2	22.2	5.60	0.138
7	1.4	8.90	1.03	4.20	53.6	24.2	3.70	0.128
8	5.8	10.15	0.96	4.00	44.9	22.2	5.30	0.202
9	5.3	8.90	0.99	3.75	48.4	23.4	5.20	0.128
10	3.7	9.40	1.03	3.85	49.4	23.6	4.55	0.120

Tous les tessons analysés sont des céramiques sigillées sauf le n° 8 de Westerndorf qui est un fragment de moule. Les autres tessons de Westerndorf appartiennent à des formes Drag 37, soit à des rebords: n°s 1, 3, 6, 11 (1963/363), 12 (1961/1011), soit à des fragments de panse décorés: n°s 2, 4, 5, 7, 9, 10 (1962/546). Les tessons de Pfaffenhofen appartiennent également à des formes Drag 37, soit à des rebords: n°s 6 (1968, 862), 8 (1968, 862), soit à des pieds: n° 5 (1968, 863), soit à des fragments de panse décorés: n°s 1 (1970/1255), 2 (1970/1255), 3 (1970/1255), 4 (1596), 7 (1968, 861), 9 (1968, 861), 10 (1968, 859).

On peut représenter l'ensemble des compositions de chacun des deux ateliers par les valeurs moyennes \bar{m} des divers constituants et par l'écart-type correspondant σ . On rappelle qu'on devrait avoir 68% des exemplaires dont les pourcentages pour le constituant considéré sont compris entre $(\bar{m}-\sigma)$ et $(\bar{m}+\sigma)$, si la distribution des compositions autour de la valeur moyenne obéissait à une loi normale ou de Laplace-Gauss, ce qui est en général assez bien vérifié. La valeur de σ est calculée en supposant que la distribution des pourcentages satisfait à la loi précédente.

On a ainsi pour les deux ateliers:

Westerndorf								
	CaO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO
\bar{m}	1.02	8.59	1.01	4.46	54.7	23.7	3.78	0.069
σ	0.19	0.64	0.025	0.14	1.7	0.65	0.22	0.007

Pfaffenhofen

	CaO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO
\bar{m}	3.16	9.14	1.01	4.16	51.0	23.8	4.37	0.125
σ	2.16	0.81	0.036	0.31	3.9	1.20	0.75	0.057

Lors de l'exploitation mathématique des résultats, dont nous parlerons plus loin, il faut encore ajouter aux grandeurs précédentes, afin d'arriver à une meilleure définition des compositions d'un atelier, des précisions sur la manière dont chaque constituant varie en fonction de chacun des autres. On définit pour cela la matrice des variances et covariances, C, pour l'atelier considéré. Comme cette matrice comporte les valeurs de l'écart-type σ , on représente finalement chaque atelier (ou chaque catégorie d'argile existant sur l'atelier) par son vecteur-moyenne \bar{m} et sa matrice C des variances et covariances.

Il y a peu de remarques à faire sur les compositions elles-mêmes. On peut noter toutefois que les céramiques sigillées des deux ateliers de Westerndorf et Pfaffenhofen appartiennent au groupe des pâtes non calcaires¹. C'est le cas, fréquemment, pour les sigillées de la Gaule de l'Est, sans doute parce que les influences italiques qui ont imposé, dans la Gaule du Sud et dans la Gaule du Centre, l'usage des pâtes calcaires, s'y font moins sentir, ou mettent plus de temps à s'exercer⁴. On peut noter également les pourcentages de fer exceptionnellement élevés des céramiques des deux ateliers de Bavière. Ce sont les plus élevés que nous connaissions parmi la soixantaine d'ateliers de sigillée étudiés au Laboratoire; ils sont reponsables de la totalisation un peu faible des analyses, par suite de phénomènes d'absorption, non corrigés pour les raisons que nous avons indiquées précédemment.

2. Différenciation des productions de Westerndorf et Pfaffenhofen

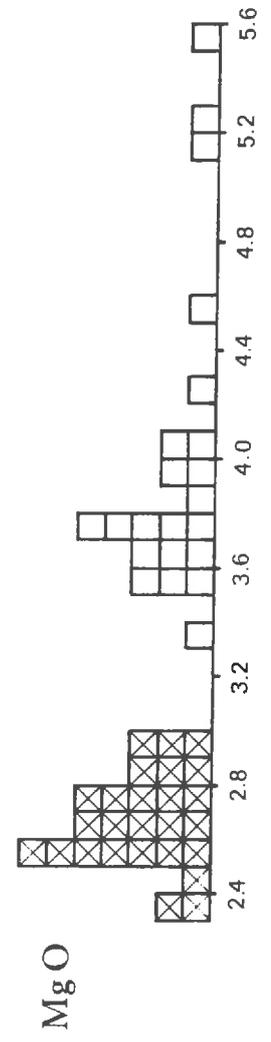
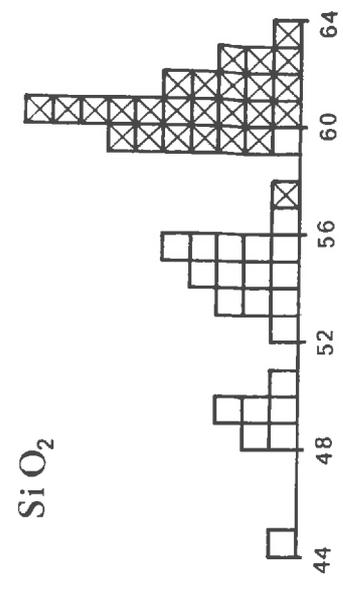
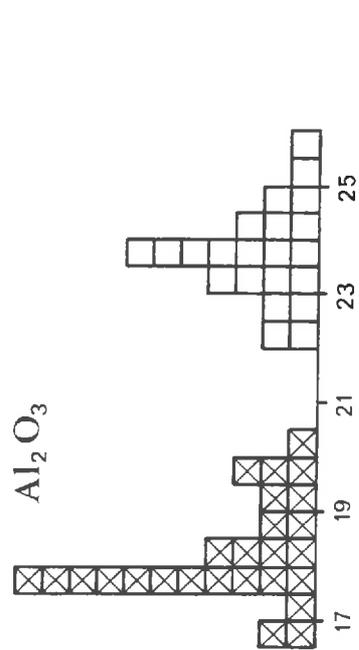
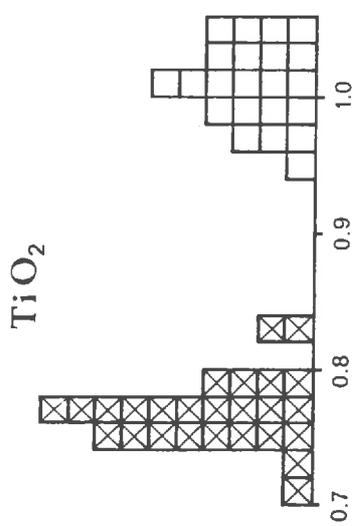
Le problème est de pouvoir distinguer, par les caractéristiques de leur pâte, les productions de Westerndorf de celles de Pfaffenhofen, et inversement. Nous verrons plus loin comment reconnaître les productions de ces ateliers, parmi toutes celles de l'ensemble des ateliers de sigillée. Mais à présent il s'agit uniquement de séparer les céramiques qui reviennent à chacun des deux ateliers que nous étudions. Or c'est certainement un problème difficile, car si l'on examine les listes d'analyse, ou les valeurs moyennes, on ne peut qu'être frappé par la ressemblance des compositions des deux ateliers. Cette ressemblance résulte sans doute de conditions géologiques identiques, qu'il faudrait vérifier; elles s'expliquent par la faible distance qui sépare les deux ateliers et qui n'excède pas celles que l'on a parfois, à l'intérieur de plus grands ateliers, d'un point à un autre.

Pour tenter de résoudre le problème nous ferons appel au procédé mathématique que nous utilisons dans le système de détermination des provenances de la céramique sigillée dont nous achevons la mise au point.

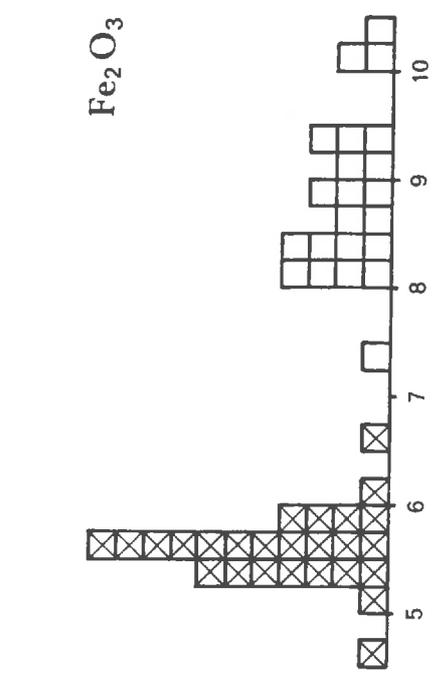
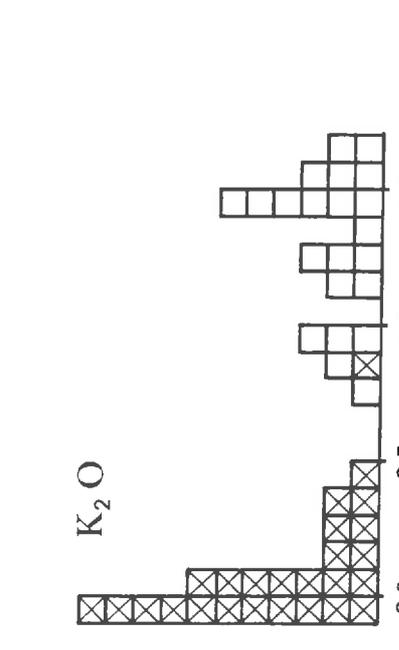
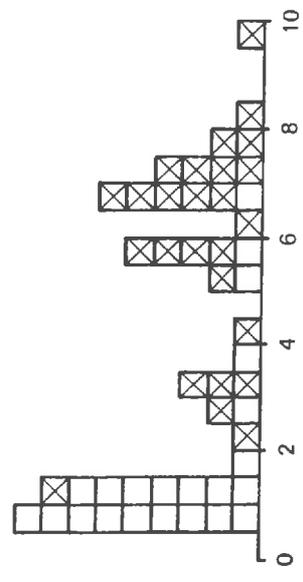
Soient \bar{m}_1 et \bar{m}_2 , C₁ et C₂, les compositions moyennes et les matrices des variances et covariances pour l'atelier de Westerndorf repéré par l'indice 1 et pour celui de Pfaffen-

⁴ M. Picon et M. Vichy, Recherches sur la composition des céramiques de Lyon, Rev. Archéologique de l'Est 25, 1974, 37-59.

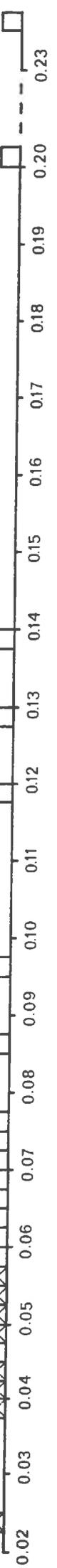
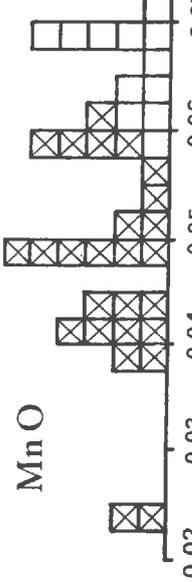
\square Westerndorf-Pfaffenhofen
 \boxtimes Rheinzabern



CaO



MnO



hofen auquel nous attribuons l'indice 2. A partir de ces données on calcule les probabilités P_1 et P_2 qu'a un tesson quelconque de composition x d'appartenir à l'atelier de Westerndorf et à celui de Pfaffenhofen, la somme de ces probabilités étant égale à 1.

Le calcul repose sur les relations suivantes⁵:

$$P_1 = \frac{d_1(x)}{d_1(x) + d_2(x)} \qquad P_2 = \frac{d_2(x)}{d_1(x) + d_2(x)}$$

avec $d_1(x) = (2\pi)^{-p/2} \cdot |C_1|^{-1/2} \cdot \exp \{-1/2 (x-\bar{m}_1)' C_1^{-1} (x-\bar{m}_1)\}$

et $d_2(x) = (2\pi)^{-p/2} \cdot |C_2|^{-1/2} \cdot \exp \{-1/2 (x-\bar{m}_2)' C_2^{-1} (x-\bar{m}_2)\}$

$d_1(x)$ et $d_2(x)$ sont les densités de probabilité d'appartenance du tesson de composition x aux ateliers 1 et 2. $(x-\bar{m}_1)'$ et $(x-\bar{m}_2)'$ sont les matrices transposées de $(x-\bar{m}_1)$ et $(x-\bar{m}_2)$. Le déterminant de C est $|C|$, tandis que p représente le nombre de variables caractérisant chaque atelier, il est égal ici à 8.

Ce procédé de calcul relève de l'analyse discriminante quadratique et nécessite l'emploi d'un ordinateur; il peut être étendu à un nombre quelconque d'ateliers.

Afin de se rendre compte des possibilités dont on dispose pour séparer les productions des deux ateliers de Westerndorf et Pfaffenhofen, on a, par le moyen des calculs précédents, attribué une origine à chacune des 22 analyses que nous possédons, d'après les résultats obtenus pour les probabilités P_1 (Westerndorf) et P_2 (Pfaffenhofen).

Ces résultats sont les suivants:

Numéros d'analyse de Westerndorf	Probabilités		Numéros d'analyse de Pfaffenhofen	Probabilités	
	P_1	P_2		P_1	P_2
1	0.99999	0.00000	1	0.00001	0.99998
2	1.00000	0.00000	2	0.99891	0.00108
3	0.99999	0.00000	3	0.00000	1.00000
4	1.00000	0.00000	4	0.00000	1.00000
5	1.00000	0.00000	5	0.00000	1.00000
6	0.99999	0.00000	6	0.00000	1.00000
7	0.99999	0.00000	7	0.00000	1.00000
8	1.00000	0.00000	8	0.00000	1.00000
9	0.99999	0.00000	9	0.00000	1.00000
10	1.00000	0.00000	10	0.00000	1.00000
11	0.99998	0.00001			
12	1.00000	0.00000			

On attribue chaque tesson à l'atelier pour lequel la probabilité d'appartenance P est voisine de 1. Les résultats précédents montrent que tous les tessons de Westerndorf sont correctement attribués à l'atelier dont ils proviennent réellement. Il existe par contre

⁵ P. Laffite, Traité d'informatique géologique, Paris (1972).

une erreur d'attribution pour un des tessons de Pfaffenhofen, le n° 2, dont la composition est plus proche de celles de Westerndorf que de celles de Pfaffenhofen. On pourrait certes se demander s'il ne s'agirait pas, étant donné la proximité des deux ateliers, d'un tesson de Westerndorf mêlé accidentellement dans l'Antiquité aux rebuts des fabrications de Pfaffenhofen. C'est dire qu'il faudrait continuer les analyses, ce qui permettrait de voir si un tel cas est ou non isolé. Sans doute serait-il souhaitable d'analyser de préférence des ratés de cuisson, lesquels ont peu de chance d'avoir été transportés d'un atelier à l'autre. Il semble cependant plus vraisemblable d'admettre, étant donné la ressemblance des compositions des deux ateliers, que certaines de ces compositions peuvent être communes à Westerndorf et Pfaffenhofen. En ce cas, il ne serait pas possible de séparer complètement les productions de ces deux ateliers par la méthode indiquée ci-dessus.

On peut se demander alors si par d'autres méthodes on ne parviendrait pas à rendre complète la séparation des productions de Westerndorf et Pfaffenhofen. Celle-ci ne serait réalisée par la méthode précédente qu'à environ 95% ($\approx 21/22$), dans l'hypothèse, peu vraisemblable a priori, où l'échantillonnage dont nous disposons serait bien représentatif des deux ateliers.

Pour réaliser cette séparation d'une manière complète, on penserait tout naturellement à utiliser les analyses de traces telles qu'elles ont été développées par exemple au Laboratoire de Berkeley⁶. Cependant, si réellement la similitude des compositions des deux ateliers est bien due à des situations géologiques identiques, il y a peu d'espoir que des procédés comme celui de Berkeley permettent d'améliorer la séparation précédente. C'est ce qui résulte semble-t-il des recherches entreprises sur d'autres sites, en collaboration avec le Laboratoire de Berkeley. D'ailleurs les quelques dosages de traces que nous avons pu faire sur certains tessons des deux ateliers de Bavière n'ont apporté aucune amélioration à notre problème.

Dans ces conditions il n'est pas inutile de s'interroger sur l'utilisation possible des résultats d'analyse lorsqu'on a affaire à des ateliers dont la séparation demeure imparfaite.

Il importe avant tout de distinguer nettement les problèmes statistiques et les problèmes individuels. Pour les premiers, une incertitude de 5%, dont il faudrait vérifier la valeur sur un bien plus grand nombre d'exemplaires, ne constitue pas un obstacle très gênant. C'est en effet une précision tout à fait acceptable si l'on cherche par exemple à déterminer sur un site donné les pourcentages respectifs des céramiques de Westerndorf et de Pfaffenhofen, qu'il s'agisse d'étudier ainsi l'évolution des importations sur le site, ou d'obtenir des renseignements sur les périodes d'activité des deux ateliers. Par contre lorsqu'on a besoin de résoudre des problèmes individuels, lorsqu'on souhaite par exemple savoir si tel tesson ou tel moule – dont le décor ou la forme a certaines particularités qui en font l'intérêt – provient de Westerndorf ou de Pfaffenhofen, une incertitude de quelques pourcents est incontestablement très gênante. Cependant ce n'est pas toujours que l'on doit, même pour ces problèmes, se résigner à demeurer

⁶ I. Perlman and F. Asaro, Pottery analysis by neutron activation, *Archaeometry* 11, 1969, 21-52. – F. Widemann, M. Picon, F. Asaro, H. V. Michel and I. Perlman, A Lyons Branch of the Pottery-making Firm of ATEIVS of Arezzo, à paraître dans *Archaeometry* 17, 1975.

dans le doute. On peut très bien en effet isoler les compositions qui sont communes aux deux ateliers. Si pour celles-ci le doute demeure, il n'en est pas de même pour les autres. Sur les listes d'analyse par exemple on voit très bien et sans calcul que les pourcentages élevés de calcium et de manganèse ne se rencontrent qu'à Pfaffenhofen. Une fois cette propriété vérifiée sur un bien plus grand nombre d'exemplaires (nombre qui devrait d'ailleurs être très élevé car le calcium et le manganèse sont des éléments peu sûrs auxquels il convient de ne pas trop se fier) on peut être assuré que les céramiques qui ont les caractéristiques précédentes seront bien de Pfaffenhofen. Ceci n'est qu'un exemple, mais le procédé peut être généralisé de manière rigoureuse par le calcul.

3. Différenciation entre le groupe Westerndorf-Pfaffenhofen et les autres ateliers

Il s'agit à présent de reconnaître les productions des ateliers bavarois (que nous considérons pour simplifier de manière globale, formant un tout) parmi les productions de tous les autres ateliers de sigillées, connus ou inconnus.

Pour les ateliers connus le problème est extrêmement simple. On peut procéder comme nous l'avons indiqué à propos de la séparation éventuelle des productions de Westerndorf et de Pfaffenhofen, en utilisant l'analyse discriminante. Mais ici les différences sont beaucoup plus marquées en sorte qu'aucun tesson parmi les quelques milliers que nous avons analysés, provenant de plus d'une soixantaine d'ateliers, ne se trouve attribué par erreur aux ateliers bavarois, et inversement. En fait les différences sont suffisamment importantes, par suite du caractère marginal, déjà signalé, des compositions de Westerndorf et Pfaffenhofen, pour que la plupart des séparations puissent se faire sans l'intervention des méthodes de calcul. Nous prendrons comme exemple le cas de l'atelier de Rheinzabern dont les liens avec les officines bavaroises sont bien connus. Ses caractéristiques, portant sur 26 exemplaires des fouilles anciennes et récentes, sont les suivantes:

Rheinzabern

	CaO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO
\bar{m}	5.85	5.63	0.77	3.13	60.7	18.3	2.69	0.047
σ	2.12	0.32	0.028	0.21	1.3	0.87	0.17	0.010

En comparant ces caractéristiques à celles des deux ateliers de Bavière on voit immédiatement que la plupart des constituants présentent des écarts très importants. Pour certains de ces constituants comme Fe₂O₃, TiO₂, Al₂O₃ et MgO les écarts sont tels qu'il n'y a même aucun recouvrement des deux distributions. C'est ce qu'on a représenté sur *Beilage VII* où sont rassemblés les histogrammes de Rheinzabern et ceux du groupe Westerndorf-Pfaffenhofen. Les valeurs de Rheinzabern pour les 4 constituants précédents sont toutes inférieures ou égales respectivement à 6,55 - 0.84 - 20.4 - 3.00, tandis que celles du groupe Westerndorf-Pfaffenhofen sont toutes supérieures ou égales respectivement à 7.35 - 0.96 - 22.2 - 3.35.

Mais en fait, même lorsque les différences sont moins importantes, il n'y a véritablement aucun problème pour distinguer les productions des ateliers de Bavière de celles de n'importe quel autre atelier de céramique sigillée. Rappelons que nous avons étudié plus d'une soixantaine de ces ateliers.

Le seul problème qui demeure est celui de la représentativité des analyses dont nous disposons. Il est certain que dix analyses pour un atelier, même d'importance réduite comme Pfaffenhofen, c'est trop peu. Pour certains très grands ateliers ce sont plusieurs centaines d'analyses qui furent nécessaires pour parvenir à une connaissance satisfaisante des compositions. Certes les ateliers de Bavière ne semblent pas avoir été aussi complexes. De plus, étant donné que les compositions de Westerndorf et celles de Pfaffenhofen se présentent plutôt comme deux variétés d'un même type d'argile, on peut considérer qu'on a de celui-ci une connaissance globale sans doute assez satisfaisante. Mais il serait sage cependant d'étendre les analyses à un plus grand nombre d'échantillons, pour plus de sécurité.

Nous avons parlé jusqu'ici de la séparation entre les céramiques du groupe de Westerndorf-Pfaffenhofen et celles des divers ateliers connus. Mais que se passerait-il si nous avions affaire aux céramiques d'un atelier inconnu, éventualité dont il faut nécessairement tenir compte ? Une première remarque concerne l'analyse discriminante à laquelle sont associées diverses conditions qui permettent d'éliminer les tessons ayant une trop faible ressemblance avec les ateliers que nous connaissons. Il n'y a donc aucune difficulté à mettre en évidence, par ce moyen mais aussi par d'autres, des ateliers inconnus⁷. Reste alors le cas hypothétique d'un atelier qu'aucune particularité de composition ne distinguerait des ateliers bavarois. Il est évident qu'en théorie rien ne permet d'affirmer qu'un tel cas n'existe pas. Cependant il semble certain, d'après ce que nous commençons à savoir grâce à l'étude des ateliers, que la probabilité de se trouver dans une telle situation est extraordinairement faible (et jusqu'ici nous n'en connaissons pas d'exemple) si les ateliers considérés n'ont pas le même environnement géologique. Cela revient pratiquement à dire que s'il se trouvait au voisinage des ateliers de Westerndorf et Pfaffenhofen un troisième atelier inconnu, il est très probable qu'on ne parviendrait pas à distinguer ses productions de celles des deux premiers ateliers. Par contre cette séparation devient possible si on s'éloigne suffisamment pour que la situation géologique des ateliers ne soit plus tout à fait la même. On serait ainsi amené à définir autour des ateliers de Westerndorf-Pfaffenhofen une zone dite d'incertitude où les compositions sont les mêmes que celles qu'on rencontre sur ces deux sites. L'étendue de cette zone dépend bien entendu des conditions géologiques et des caractéristiques de composition retenues pour l'étude des céramiques. Il en résulte que lorsqu'on dit, d'après les résultats de son analyse, qu'un tesson appartient au groupe de Westerndorf-Pfaffenhofen, en toute rigueur cela signifie seulement qu'il provient de la zone d'incertitude (ou espace de non résolution) entourant ces ateliers. On se rendra compte facilement que pour la plupart des applications archéologiques c'est là une restriction qui est rarement gênante, mais qu'il ne faut cependant pas oublier.

⁷ M. Picon et coll., Recherches sur les céramiques d'ATEIVS trouvées en Gaule, R.C.R.F. Acta XIV-XV, 1972-1973, 128-135.