



HAL
open science

Caractérisation chimique des grès khmers du Buriram (Thaïlande)

Valérie V. Thirion-Merle, Armand Desbat, Ranet Hong

► **To cite this version:**

Valérie V. Thirion-Merle, Armand Desbat, Ranet Hong. Caractérisation chimique des grès khmers du Buriram (Thaïlande). Bulletin archéologique des Écoles françaises à l'étranger, 2021, 10.4000/baefe.4504 . hal-03507937

HAL Id: hal-03507937

<https://hal.science/hal-03507937>

Submitted on 3 Jan 2022

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

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

Caractérisation chimique des grès khmers du Buriram (Thaïlande)

Valérie Thirion-Merle, Armand Desbat et Ranet Hong



Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/baefe/4504>

DOI : 10.4000/baefe.4504

ISSN : 2732-687X

Éditeur

ResEFE

Ce document vous est offert par Université Lumière Lyon 2



Référence électronique

Armand Desbat, Valérie Thirion-Merle et Ranet Hong, « Caractérisation chimique des grès khmers du Buriram (Thaïlande) » [notice archéologique], *Bulletin archéologique des Écoles françaises à l'étranger* [En ligne], Asie du Sud-Est continentale, mis en ligne le 29 novembre 2021, consulté le 03 janvier 2022. URL : <http://journals.openedition.org/baefe/4504> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/baefe.4504>

Ce document a été généré automatiquement le 3 janvier 2022.



Le *Bulletin archéologique des Écoles françaises à l'étranger* est mise à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

Caractérisation chimique des grès khmers du Buriram (Thaïlande)

Valérie Thirion-Merle, Armand Desbat et Ranet Hong

NOTE DE L'AUTEUR

Partenariats institutionnels : CNRS

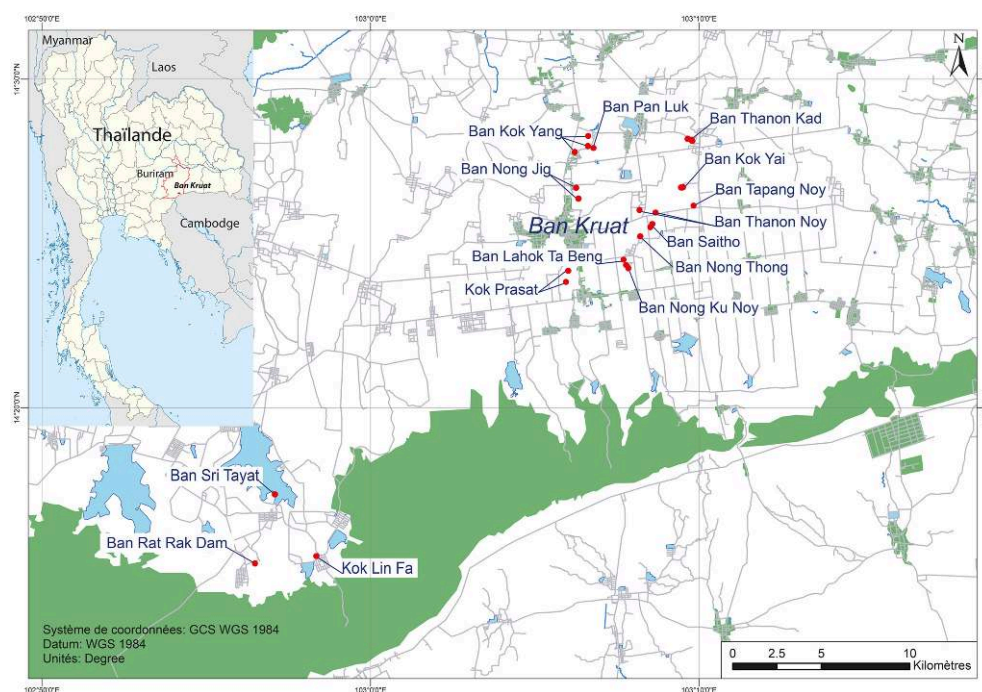
Établissement éditeur : EFEO

Établissements porteurs de l'opération : EFEO, CNRS

- 1 Les grès angkoriens constituent une production céramique originale, caractéristique de la période angkoriennne (IXe-XIVe siècle a. D.). De nombreuses études ont été réalisées à partir de découvertes sur les sites de consommation mais aussi depuis la découverte des sites de production autour d'Angkor et dans d'autres provinces¹. Mais ces recherches se limitaient bien souvent à quelques études de cas. Le programme Cerangkor² s'est distingué par son ampleur en s'attachant à définir, pour tous les sites d'ateliers connus, les caractéristiques de la production sur les plans typologique et technique mais également du point de vue des compositions géochimiques. Un vaste programme d'analyses chimiques a été entrepris de façon à définir les compositions chimiques de chaque catégorie de grès identifiée. Six groupes de fours sont connus aux alentours de la cité d'Angkor au Cambodge et ont fonctionné entre les IXe et XIVe siècle.³ Des groupes de références géochimiques ont été définis, permettant d'étudier la diffusion de ces ateliers d'une part et de préciser leur durée de vie par l'analyse des céramiques des sites de consommation d'autre part.⁴
- 2 À partir du XIe siècle émergent d'autres centres producteurs notamment au Buriram aujourd'hui une des provinces de Thaïlande. Pas moins d'une centaine de fours produisant différentes catégories de grès ont été identifiés.⁵ Malheureusement aujourd'hui la plus grande partie de ces fours identifiés dans les années 80 a disparu.
- 3 Entre 2015 et 2017, l'équipe de Cerangkor a mené plusieurs enquêtes sur les sites de fours encore visibles du Buriram (districts de Ban Kruat et Lahansai) ainsi qu'à Ban

Sawai (province de Surin) et Ban Ya Kha (province de Nakhon Ratchasima) où d'autres sites ont été suspectés.⁶ Nos prospections se sont surtout concentrées sur les sites de fours encore visibles autour de la ville de Ban Kruat à partir des cartes établies par le Fine Art Department (1989) et surtout grâce à l'aide de Mr Surapol Tawankar, professeur au lycée de Ban Kruat qui connaît parfaitement les sites de fours et nous a servi de guide. Nos prospections ont également concerné plusieurs sites situés plus au sud dans le district du Lahan Saï (**fig. 1**). Sur chaque site de fours plusieurs catégories de grès ont pu être produites, des grès non glaçurés ou des grès glaçurés. Ces derniers peuvent être à glaçure brune, à glaçure verte ou bicolores ; ce qui est une des caractéristiques des fours de cette province.

Fig. 1. Localisation des sites de fours autour de Ban Kruat et dans le district du Lahan Saï (Buriram, Thaïlande).



Fond de carte issu du Projet OpenStreetMap, depuis le serveur de téléchargement gratuit Geofabrik.

- 4 L'objectif de cet article est de présenter les résultats obtenus à partir des analyses chimiques des différents types de grès retrouvés sur les sites producteurs du Buriram. Nous disposons dorénavant d'environ 350 références pour caractériser les productions de grès à glaçure verte (**fig. 2 et 3**), grès à glaçure brune (**fig. 4 à 6**) et grès non glaçurés de plus d'une quinzaine de sites de fours dispersés autour de Ban Kruat et dans le district du Lahan Saï. Ces analyses nous ont permis d'établir des groupes de références relativement solides qui sont détaillés ici.

Fig. 2. Planche de grès à glaçure verte retrouvés sur le site de Ban Rat Rak Dam.

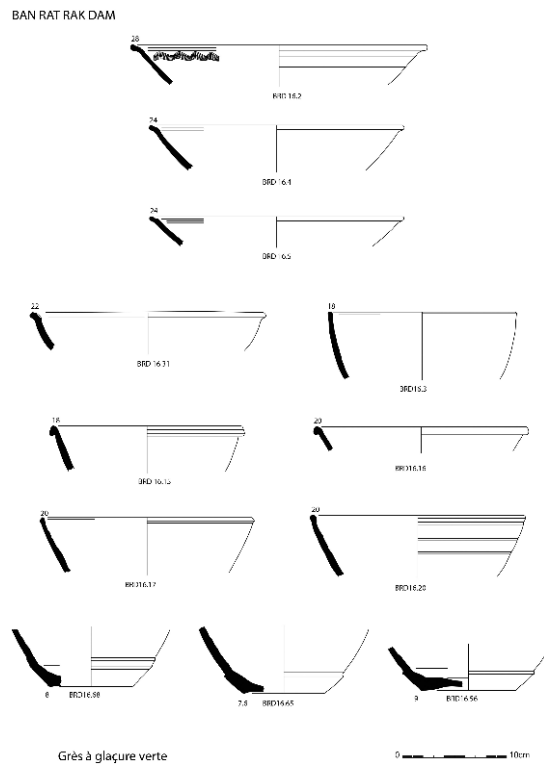


Fig. 3. Photo d'un bol à glaçure verte.



A. Desbat.

Fig. 4. Planche de grès à glaçure brune retrouvés sur le site de Ban Rat Rak Dam.

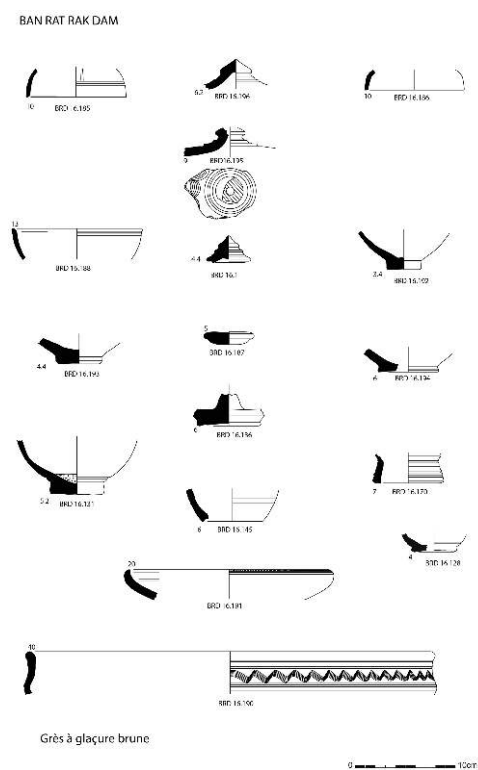


Fig. 5. Planche de grès à glaçure brun/noir retrouvés sur le site de Ban Kok Yai.

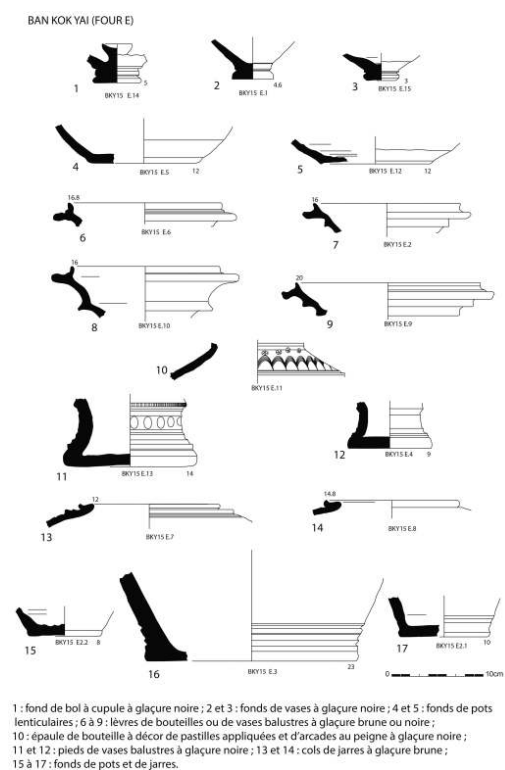


Fig. 6. Photo des tessons de grès à glaçure brun/noir retrouvés sur le site de Ban Kok Yai.



A. Desbat.

Observations macroscopiques

- 5 Des observations macroscopiques ont tout d'abord été réalisées sur les échantillons analysés. Ces observations s'intéressent à l'aspect général de la pâte céramique, à la matrice argileuse et aux inclusions présentes (forme, couleur, taille, abondance). Elles ont été réalisées à la loupe binoculaire sur cassure fraîche et/ou coupe et montrent que la pâte des grès à glaçure verte est essentiellement fine, de couleur claire (beige, grise voire blanche) et contient de très nombreux grains blancs et/ou translucides très fins mais très peu de nodules d'oxyde de fer, au contraire des grès non glaçurés et grès à glaçure brune qui présentent pour une grande partie d'entre eux des pâtes plus grossières, de teintes foncées et contenant de nombreux nodules d'oxydes de fer de tailles variées ainsi que de gros grains de quartz (**fig. 7**). On peut donc déduire de ces premières observations que les grès à glaçure verte ont été produits à partir de matières premières argileuses nettement différentes de celles utilisées pour les grès à glaçure brune ou les grès non glaçurés. Par contre, ces deux dernières catégories de grès semblent avoir été produites à partir de matières premières similaires.
- 6 Néanmoins sur seulement trois sites à proximité de Ban Kruat, à savoir les sites de Ban La Hok Ta Beng, Ban Nong Ku Noy et Ban Kok Yai, quelques grès à glaçure brune présentent exactement la même pâte que les grès à glaçure verte. A Ban Sri Tayat, district du Lahan Sai, un seul exemplaire de ce type a été découvert. Les analyses ont montré que leurs compositions étaient strictement similaires à celle des grès à glaçure verte. Les potiers ont donc parfois utilisé la même argile pauvre en oxyde de fer pour

fabriquer des grès glaçurés verts ou bruns. Ces cas sont toutefois assez rares et pourraient correspondre aux productions les plus anciennes.

Fig. 7. Photographies des pâtes céramiques de quelques grès types (grossissement 1).



V. Thirion-Merle.

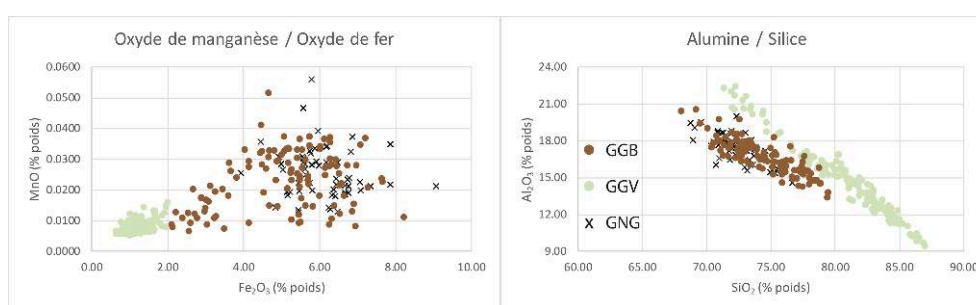
Les analyses chimiques

- 7 La composition chimique de chaque échantillon de grès a été déterminée par spectrométrie de fluorescence X à dispersion de longueur d'onde (WDS-XRF), au laboratoire d'archéologie et d'archéométrie de Lyon (France), à l'aide d'un spectromètre Bruker S8 Tiger doté d'une source d'excitation Rh. Cette technique nécessite de prélever et préparer les échantillons selon un protocole précis : un petit prélèvement est effectué sur chaque échantillon à l'aide d'une scie diamantée. Les surfaces extérieures, susceptibles d'être altérées chimiquement lors de l'enfouissement sont éliminées. Le grillage des prélèvements à 950°C (nécessaire pour éliminer l'eau, les substances volatiles et organiques) est suivi du broyage à l'aide d'un broyeur à galet en carbure de tungstène. Un total de 800 mg du prélèvement en poudre est ensuite ajouté à 3200 mg de fondant chimique (mélange de métaborate et tétraborate de lithium), le mélange obtenu est ensuite chauffé pour produire un disque de verre. La mesure peut alors être effectuée sur ce disque de verre de composition parfaitement homogène, qui correspond à la composition chimique moyenne représentative du matériau initial.
- 8 Du fait du procédé de préparation des échantillons mis en œuvre, cette technique fournit la composition chimique globale d'une céramique (matrice plus inclusions) et par conséquent du matériau utilisé pour sa fabrication. Pour chaque échantillon,

24 composants sont déterminés sur la base de courbes d'étalonnage établies avec 40 géostandards internationaux⁷.

- 9 Les résultats de ces analyses chimiques ont bien confirmé que les grès non glaçurés et grès à glaçure brune présentaient des compositions similaires, nettement différentes de celles des grès à glaçure verte⁸. Cela peut très simplement se vérifier à partir des diagrammes binaires mettant en relation, d'une part, les teneurs en oxyde de fer et en oxyde de manganèse des grès non glaçurés (GNG), des grès à glaçure brune (GGB) et des grès à glaçure verte (GGV), et d'autre part les teneurs en silice et alumine pour ces mêmes grès (**fig. 8**). D'autres éléments chimiques participent à cette distinction indiquant ainsi que les matériaux argileux sont nettement différents. Les potiers ont sélectionné leurs argiles en fonction de ce qu'ils souhaitaient produire.

Fig. 8. Diagrammes binaires mettant en relation, d'une part, les teneurs en oxyde de fer et en oxyde de manganèse et les teneurs en silice et alumine, d'autre part, des grès non glaçurés (GNG), des grès à glaçure brune (GGB) et des grès à glaçure verte (GGV) des sites de fours du Buriram.

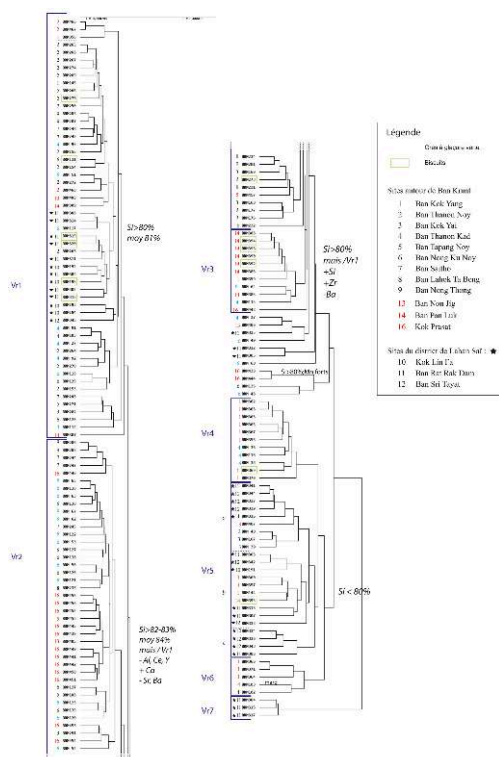


- 10 Toutefois, les analyses chimiques ont également confirmé que sur certains sites de fours, notamment Ban La Hok Ta Beng, Ban Saitho et Ban Kok Yai, les potiers ont utilisé exactement les mêmes argiles pour produire les grès à glaçure brune et ceux à glaçure verte, dans la mesure où l'on retrouve ces deux catégories de grès dans les mêmes groupes de composition.
- 11 À la lumière de ces résultats, les groupes de référence seront présentés pour chaque catégorie de grès.

Les grès à glaçure verte

- 12 La comparaison des compositions chimiques de l'ensemble des grès à glaçure verte analysés du Buriram (sites des districts de Ban Kruat et du Lahan Sai) a été réalisée à partir d'une classification ascendante hiérarchique⁹, méthode statistique qui permet de mettre en évidence des groupes de composition rassemblant des échantillons présentant de fortes affinités de compositions (**fig. 9**).

Fig. 9. Classification ascendante hiérarchique des grès à glaçure verte retenus comme références du Buriram, réalisée sur 17 éléments chimiques, (n = 170).



- 13 Cette classification fait apparaître un grand nombre de groupes de compositions dénommés Vr1 à Vr7, reflète de la diversité des matériaux argileux utilisés. Les compositions moyennes des différents groupes établis sont données dans le tableau 1.
- 14 La majeure partie des grès à glaçure verte ont été produits avec des matières premières ayant des teneurs en silice très élevées (>80%, voire 83%) et des teneurs en la plupart des autres éléments chimiques faibles, et notamment les teneurs en alcalins et alcalino-terreux (grès des groupes Vr1 à Vr3 + marginaux internes). Ce qui dénote l'utilisation de matériaux argileux kaolinitiques (contenant une forte proportion de kaolinite, minéral argileux de formule chimique $Al_2Si_2O_5(OH)_4$). Pour certains groupes les teneurs en alumine sont plus élevées suggérant une argile plus kaolinitique.
- 15 La corrélation inverse silice/alumine est vraisemblablement liée à l'existence d'une phase sableuse d'abondance plus importante pour les grès des groupes Vr1 à Vr3. La forte corrélation positive entre la silice et le zirconium signifie que ces deux éléments chimiques sont liés au sein de la phase sableuse et renforce l'hypothèse d'une phase sableuse non négligeable, d'origine naturelle ou apportée par les potiers (fig. 9).
- 16 Quelques sites ont utilisé par contre des matières argileuses moins siliceuses et ayant des teneurs en potasse et rubidium plus élevées (Grès des groupes Vr4 à Vr7), le groupe Vr6 ayant les teneurs en potasse et en rubidium les plus élevées associées à des teneurs en baryum (Ba) élevées (fig. 10).
- 17 La nature argileuse de la matière première est donc différente et peut avoir contenu une fraction feldspathique potassique servant de fondant.
- 18 Le groupe Vr7 est assez différent de tous les autres et se caractérise par des teneurs nettement plus élevées en oxyde de titane, en strontium et baryum.

- 19 Les productions des fours des deux districts étudiés ne se séparent pas de façon nette, les productions des fours du Lahan Saï (repérés par une étoile sur la classification) forment des sous-ensembles au sein des groupes identifiés mais quelques exemplaires de grès trouvés sur des fours autour de Ban Kruat présentent les mêmes compositions.
- 20 La variété de compositions des grès du Buriram peut être liée à la multiplicité des fours et des sites, chaque four pouvant correspondre à des potiers et à des habitudes de production et de préparation des matières premières différentes. Le facteur chronologique peut également avoir joué un rôle. Toutefois peu de groupes correspondent à un site en particulier. Nous reviendrons sur ce point.

Tableau 1. Compositions moyennes des différents groupes de grès à glaçure verte, les éléments majeurs sont donnés en pourcent d'oxyde et les traces en partie par million de métal.

Vr1, n = 55

	CaO	Fe2O3	TiO2	K2O	SiO2	Al2O3	MgO	MnO	P2O5	Zr	Sr	Rb	Zn	Cr	Ni	La	Ba	V	Ce	Y	Th	Pb	Cu
m	0,08	0,99	0,724	1,31	81,50	14,74	0,44	0,0069	0,07	312	63	79	13	58	9	67	364	69	126	40	18	22	17
s	0,02	0,17	0,051	0,27	1,41	1,25	0,11	0,0014	0,02	28	13	14	5	8	4	12	88	12	19	10	4	9	6
s%	27	17	7	20	2	8	25	21	24	9	20	18	36	13	40	17	24	18	15	26	20	41	34

Vr2, n = 51

	CaO	Fe2O3	TiO2	K2O	SiO2	Al2O3	MgO	MnO	P2O5	Zr	Sr	Rb	Zn	Cr	Ni	La	Ba	V	Ce	Y	Th	Pb	Cu
m	0,16	1,09	0,658	1,25	84,17	11,95	0,56	0,0083	0,04	337	36	82	20	52	13	43	278	66	87	29	16	13	21
s	0,03	0,16	0,052	0,22	1,53	1,29	0,15	0,0017	0,01	33	6	11	5	6	4	7	31	7	13	5	3	2	11
s%	20	15	8	18	2	11	27	21	24	10	16	14	27	11	28	16	11	10	15	16	17	17	52

Vr3, n = 11

	CaO	Fe2O3	TiO2	K2O	SiO2	Al2O3	MgO	MnO	P2O5	Zr	Sr	Rb	Zn	Cr	Ni	La	Ba	V	Ce	Y	Th	Pb	Cu
m	0,10	1,05	0,755	1,47	83,50	12,48	0,47	0,0096	0,04	413	43	82	17	59	9	66	257	62	128	35	18	20	16
s	0,04	0,10	0,054	0,26	0,75	0,70	0,08	0,0009	0,01	32	9	13	5	9	5	12	80	9	21	5	3	4	5
s%	38	10	7	18	1	6	17	10	27	8	21	16	29	14	57	18	31	15	17	14	16	22	32

Vr4, n = 11

	CaO	Fe2O3	TiO2	K2O	SiO2	Al2O3	MgO	MnO	P2O5	Zr	Sr	Rb	Zn	Cr	Ni	La	Ba	V	Ce	Y	Th	Pb	Cu
m	0,07	1,54	1,032	2,34	72,98	21,16	0,66	0,0089	0,05	269	66	148	16	89	6	69	312	107	145	44	25	59	22
s	0,04	0,15	0,046	0,25	1,02	0,98	0,06	0,0018	0,01	23	6	16	3	5	3	6	43	6	14	5	2	10	5
s%	54	10	4	11	1	5	9	20	15	8	9	11	18	5	43	9	14	6	10	12	7	16	23

Vr5, n = 23

	CaO	Fe2O3	TiO2	K2O	SiO2	Al2O3	MgO	MnO	P2O5	Zr	Sr	Rb	Zn	Cr	Ni	La	Ba	V	Ce	Y	Th	Pb	Cu
m	0,10	1,43	0,816	2,11	78,04	16,61	0,68	0,0091	0,06	315	58	124	24	69	17	75	358	88	148	51	21	20	26
s	0,03	0,25	0,063	0,22	1,24	1,18	0,10	0,0021	0,01	34	7	18	6	8	10	25	90	6	42	20	5	9	6
s%	33	17	8	10	2	7	16	23	21	11	13	14	27	12	56	33	25	7	28	39	23	47	25

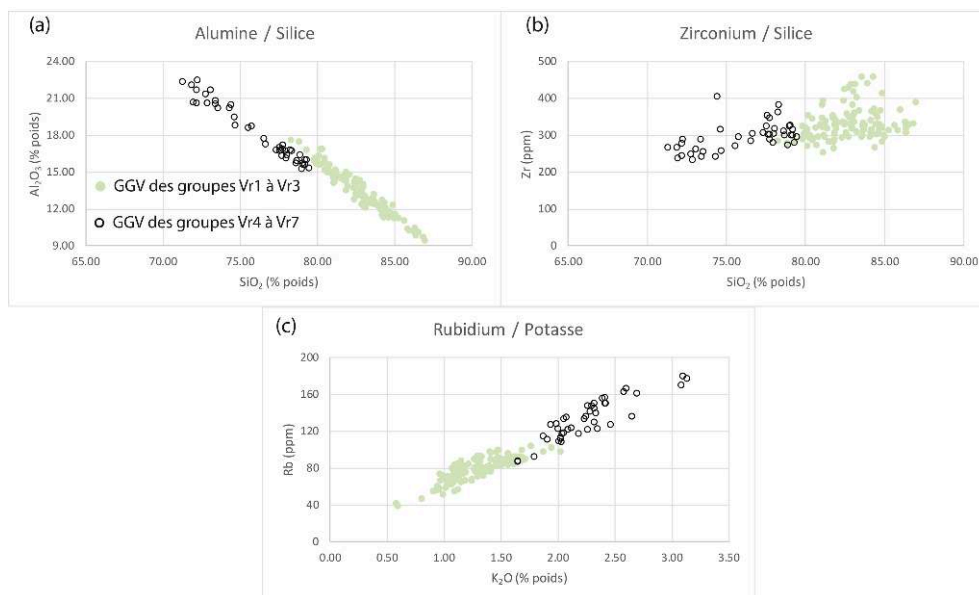
Vr6, n = 5

	CaO	Fe2O3	TiO2	K2O	SiO2	Al2O3	MgO	MnO	P2O5	Zr	Sr	Rb	Zn	Cr	Ni	La	Ba	V	Ce	Y	Th	Pb	Cu
m	0,13	1,69	0,850	2,86	73,45	19,85	0,84	0,0106	0,13	248	102	157	20	78	10	79	841	97	156	46	21	38	28
s	0,04	0,22	0,075	0,35	1,58	1,07	0,08	0,0015	0,02	16	17	26	3	6	2	10	137	14	8	7	5	27	17
s%	33	13	9	12	2	5	9	14	21	6	17	17	16	8	21	12	16	15	5	15	22	69	62

Vr7, n = 3

	CaO	Fe2O3	TiO2	K2O	SiO2	Al2O3	MgO	MnO	P2O5	Zr	Sr	Rb	Zn	Cr	Ni	La	Ba	V	Ce	Y	Th	Pb	Cu
BRM304	0,13	1,53	1,002	2,02	77,33	16,79	0,78	0,0077	0,17	306	169	112	29	98	21	52	1142	124	122	43	15	99	25
BRM315	0,10	1,57	1,026	1,91	77,56	16,72	0,70	0,0084	0,18	325	155	111	25	99	22	53	1042	131	109	40	22	109	41
BRM317	0,10	1,27	1,017	2,01	78,06	16,40	0,72	0,0060	0,17	318	161	109	30	97	19	46	1116	128	115	43	15	111	24

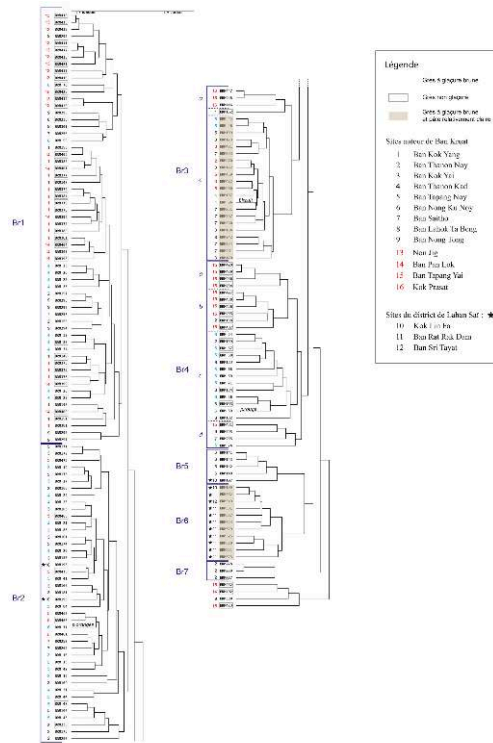
Fig. 10. Diagrammes binaires mettant en relation pour les grès à glaçure verte des groupes Vr1 à Vr7, (a) les teneurs en alumine et silice, (b) les teneurs en zirconium et silice, et (c) les teneurs en rubidium et potasse.



Les grès à glaçure brune et grès non glaçurés

- 21 La classification des échantillons de grès à glaçure brune¹⁰ et grès non glaçurés retenus comme références est présentée figure 11. Ici encore une relativement grande variété de matériaux argileux a été utilisée pour produire les grès à glaçure brune ou grès non glaçurés. Nous avons identifié au moins 7 groupes de composition. Néanmoins 60% des grès à glaçure brune ou non glaçurés se répartissent dans seulement deux groupes chimiques, Br1 et Br2.
- 22 Les grès non glaçurés sont répartis dans les différents groupes chimiques, montrant bien que les matières premières utilisés pour les produire étaient exactement les mêmes que celles des grès à glaçure brune. Seuls les grès non glaçurés du site de Ban Tapang Yai se distinguent car ils forment deux sous-groupes distincts, Br4a et Br4b. Lors de la prospection, il avait été remarqué que la production consistait uniquement en jattes et jarres ne portant aucune trace de glaçure.
- 23 Contrairement aux grès à glaçure verte pour lesquels la distinction entre ceux produits dans le Lahan Saï et ceux produits sur les sites autour de Ban Kruat est difficile, on constate ici que les grès à glaçure brune analysés du Lahan Saï, produits principalement sur le site de Ban Rat Rak Dam, forment toujours un groupe distinct, Br6. Ce group Br6 rassemble des grès ayant des pâtes relativement claires et dont les compositions révèlent des teneurs en oxyde de fer nettement plus faibles que la plupart des autres grès à glaçure brune ou grès non glaçurés. Un autre groupe Br3b rassemble également des grès à glaçure brune ayant des teneurs en oxyde de fer faibles. Ces grès proviennent de six sites autour de Ban Kruat, et leurs compositions présentent des distinctions nettes sur plusieurs éléments chimiques indiquant l'utilisation d'un matériau argileux nettement différent. Les principaux éléments chimiques qui se démarquent sont le magnésium, manganèse, zirconium, vanadium et le cérium (cf. tableau 2).

Fig. 11. Classification ascendante hiérarchique des grès à glaçure brune et grès non glaçurés retenus comme références du Buriram, réalisée sur 17 éléments chimiques, n=180.



A. Desbat.

Tableau 2. Tableau des moyennes des différents groupes de composition établis. Les éléments majeurs sont donnés en pourcent d'oxyde et les traces en partie par million de métal.

Br1, n=62																				
	CaO	Fe2O3	FeO	K2O	SiO2	Al2O3	MgO	MnO	P2O5	Zr	Sr	Hf	Zn	Cr	Ni	La	Th	Pb	Cu	
m	6,31	6,45	0,103	1,20	75,15	13,38	6,08	0,258	0,025	561	11	138	68	33	40	109	35	54	1	21
s	6,19	6,30	0,109	1,25	1,53	1,05	6,13	0,265	0,011	41	7	119	9	9	8	11	40	19	13	1
s%	42	11	1	17	2	4	33	19	39	14	20	14	14	11	29	27	11	11	21	14

Br2, n=43																				
	CaO	Fe2O3	FeO	K2O	SiO2	Al2O3	MgO	MnO	P2O5	Zr	Sr	Hf	Zn	Cr	Ni	La	Th	Pb	Cu	
m	6,11	5,11	0,104	1,74	74,06	12,26	6,70	0,272	0,023	348	27	98	32	30	17	20	211	92	23	19
s	6,04	5,23	0,102	1,68	1,38	1,30	6,71	0,268	0,013	31	14	4	3	4	5	4	11	23	11	4
s%	68	11	1	22	2	8	15	28	25	18	33	15	12	10	27	22	12	13	15	13

Br3a, n=3																				
	CaO	Fe2O3	FeO	K2O	SiO2	Al2O3	MgO	MnO	P2O5	Zr	Sr	Hf	Zn	Cr	Ni	La	Th	Pb	Cu	
BRN443	0,99	4,47	0,045	1,77	77,45	14,28	6,08	0,264	0,025	558	59	152	36	48	19	55	319	68	165	29
BRN448	0,38	1,68	0,045	1,79	71,11	11,15	6,70	0,265	0,025	333	41	132	32	36	14	38	143	34	102	14
BRN446	6,25	4,65	0,278	2,17	75,86	14,65	6,58	0,263	0,024	357	109	124	49	45	18	43	464	64	163	29

Br3b, n=21																				
	CaO	Fe2O3	FeO	K2O	SiO2	Al2O3	MgO	MnO	P2O5	Zr	Sr	Hf	Zn	Cr	Ni	La	Th	Pb	Cu	
m	6,15	2,65	0,124	1,83	76,09	13,69	6,58	0,251	0,025	303	42	109	28	27	15	44	383	61	22	23
s	6,05	3,23	0,110	1,78	1,31	1,05	6,76	0,261	0,013	31	10	5	3	4	5	5	11	11	11	4
s%	21	23	1	11	2	4	11	31	29	23	12	18	18	9	24	16	10	9	11	11

Br4a, n=4																				
	CaO	Fe2O3	FeO	K2O	SiO2	Al2O3	MgO	MnO	P2O5	Zr	Sr	Hf	Zn	Cr	Ni	La	Th	Pb	Cu	
m	6,17	6,21	0,127	1,37	72,11	13,01	1,34	0,238	0,027	433	15	12	42	22	36	528	129	23	23	37
s	6,05	6,77	0,107	1,12	6,82	6,45	6,00	0,204	0,022	18	6	3	4	3	24	73	4	45	16	1
s%	15	13	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Br4b, n=6																				
	CaO	Fe2O3	FeO	K2O	SiO2	Al2O3	MgO	MnO	P2O5	Zr	Sr	Hf	Zn	Cr	Ni	La	Th	Pb	Cu	
m	6,16	6,68	0,128	1,88	71,88	13,16	1,80	0,201	0,028	311	11	39	43	21	10	148	13	103	33	
s	6,06	6,73	0,101	1,19	1,00	6,69	6,12	0,213	0,013	10	6	6	3	1	10	35	3	11	10	1
s%	28	11	1	5	3	4	11	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9

Br4c, n=13																			
	CaO	Fe2O3	FeO	K2O	SiO2	Al2O3	MgO	MnO	P2O5	Zr	Sr	Hf	Zn	Cr	Ni	La	Th	Pb	Cu
m	6,20	6,20	0,110	1,24	72,52	12,27	6,68	0,215	0,025	309	31	31	73	28	44	450	101	112	23
s	6,02	6,93	0,107	1,24	1,63	1,07	6,76	0,207	0,013	31	11	4	10	1	11	189	112	26	11
s%	23	14	1	15	2	5	18	25	4	12	13	13	13	23	23	12	20	13	13

Br4d, n=4																			
	CaO	Fe2O3	FeO	K2O	SiO2	Al2O3	MgO	MnO	P2O5	Zr	Sr	Hf	Zn	Cr	Ni	La	Th	Pb	Cu
m	6,25	4,98	0,125	1,42	75,59	13,82	6,95	0,208	0,025	308	38	68	46	53	41	75	378	92	114
s	6,11	4,41	0,109	1,67	2,03	1,05	6,12	0,202	0,025	58	4	20	11	3	3	178	106	106	21
s%	33	11	1	10	4	3	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11

Br5, n=5																			
	CaO	Fe2O3	FeO	K2O	SiO2	Al2O3	MgO	MnO	P2O5	Zr	Sr	Hf	Zn	Cr	Ni	La	Th	Pb	Cu
m	6,17	5,74	0,120	1,65	71,55	13,16	6,94	0,209	0,025	313	38	43	33	38	43	378	114	114	11
s	6,02	6,09	0,101	1,62	1,02	1,01	6,91	0,208	0,014	22	4	10	1	1	1	1	1	1	1
s%	28	11	1	10	1	1	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11

Br6, n=11																				
	CaO	Fe2O3	FeO	K2O	SiO2	Al2O3	MgO	MnO	P2O5	Zr	Sr	Hf	Zn	Cr	Ni	La	Th	Pb	Cu	
m	6,18	7,21	0,109	1,97	76,31	14,15	6,83	0,209	0,025	282	43	112	13	77	11	42	381	144	152	21
s	6,04	6,70	0,107	1,59	1,41	1,09	6,98	0,208	0,013	12	11	8	1	1	1	1	1	1	1	
s%	42	26	1	20	2	5	15	26	19	6	14	14	30	3	27	17	11	13	24	

Br7, n=3																			
	CaO	Fe2O3	FeO	K2O	SiO2	Al2O3	MgO	MnO	P2O5	Zr	Sr	Hf	Zn	Cr	Ni	La	Th	Pb	Cu
BRN379	6,27	7,63	1,038	1,33	71,08	12,24	1,00	0,212	0,025	342	67	47	59	61	24	45	342	136	11
BRN179	6,16	5,60	1,048	1,34	71,11	12,32	0,92	0,212	0,025	340	49	39	59	69	34	50	344	179	90
BRN177	6,28	5,93	0,971	1,45	72,82	12,94	0,96	0,205	0,025	379	59	41	49	59	21	46	329	142	90

Les groupes de fours en fonction des matières premières utilisées

- 24 À partir des classifications, nous avons constaté que seuls quelques groupes de composition pouvaient correspondre à des sites particuliers. Nous avons alors cherché à mettre en relation les groupes de composition et les sites de fours.
- 25 À partir du tableau de répartition des grès dans chaque groupe de composition chimique en fonction des sites de fours dont ils proviennent, on peut voir se dessiner des zones où les potiers de différents sites de fours ont pu utiliser les mêmes matières premières (tableau 3).

Tableau 3. Tableau de répartition des grès dans chaque groupe de composition chimique en fonction des sites de fours dont ils proviennent.

Tableau 3 : tableau de répartition des grès dans chaque groupe de composition chimique en fonction des sites de fours dont ils proviennent

Nb ref GGB	Nb ref GGV	GRES A GLAÇURE BRUNE ET GRES NON GLAÇURES											GRES A GLAÇURE VERTE									
		Fe élevé											Fe moyen									
		Br1	Br2	Br3a	Br4ab	Br4c	Br4d	Br5	Br7	marq int	Br3b	Br6	Si > 80%				Si < 80%					
180	170											Vr1	Vr2	Vr3	marq int	Vr4	Vr5	Vr6	Vr7			
District de Ban Kruat																						
1_Ban Kok Yang	19	17	18									1				2		1		8	3	3
14_Ban Pan Luk	9	10	8									1				2		7			1	
13_Ban Nong Jig	11	4	11													1	1		1		1	
4_Ban Thanon Kad, G,H,I	16	13	9	5										2		6		1	1	3		2
3_Ban Kok Yai, C, D, E																						
5_Ban Tapang Noy - Ban Tarang	28*	7		22										6			4				3	
	14	3		9										5			3					
15_Ban Tapang Yai																						
2_Ban Thanon Noy	13	0	1			9			1					2								
7_Ban Saithe	9	19	2	1		1	1					3		1			18	1				
8_Ban La Hok Ta Beng	11	7	2	2					1					6			4	3				
9_Ban Nong Thong	3**	4	1	1										1			4					
	10	7	8						1				1	1			3	4				
6_Ban Nong Ku Noy																						
16_Kok Prasat	20***	29	2	1				12	1	4						6	18	1	4			
	3	16			3												13	1	2			
District du Lahon Sai																						
10_Kok Lin Fa	4	5			2					1				1		4				1		
11_Ban Rak Rat Dam	9	18														8			2		5	3
12_Ban Sri Tayat	1	11												1		1			1		9	

*+ 1 exemplaire présentant une pâte blanche et une composition correspondant au groupe Vr2
 ** + 4 exemplaires présentant une pâte blanche et une composition correspondant au groupe Vr2
 *** + 2 exemplaires présentant une pâte blanche et une composition correspondant au groupe Vr2

- 26 En effet, on constate que les grès à glaçure brune et les non glaçurés des sites de Ban Kok Yang, Ban Pan Luk et Ban Non Jig sont tous présents dans le même groupe de composition Br1, ce qui permet de dire que les potiers ont utilisé la même argile. Ces trois sites sont ceux situés le plus au nord/nord ouest de Ban Kruat. Le site de Ban Thanon Kad (Fours G, H, I), cette fois au nord-est, peut, en partie, être rapproché de ce groupe dans la mesure où de nombreux grès à glaçure brune ou non glaçurés se répartissent dans Br1. En ce qui concerne les grès à glaçure verte de ces sites, la situation n'est pas aussi claire, car ils se répartissent dans plusieurs groupes chimiques et on ne voit guère de cohérence. On peut simplement remarquer qu'à Ban Kok Yang, les potiers ont principalement utilisé des matières premières moins siliceuses.
- 27 Autre constat, les sites de Ban Kok Yai (fours C, D, E) et Ban Tapang Noy (Four J), situés également à l'est, pourraient faire partie d'un même groupe. Leurs productions sont réparties dans les mêmes groupes chimiques, Br2 et Br3b pour les « glaçure brune » et Vr2 pour les « glaçure verte ».
- 28 On peut se demander pourquoi les sites de Ban Thanon Kad et Ban Kok Yai avaient été regroupés dans un même bloc dans la publication et la carte du Fine Art Department de 1989, car ils ne fonctionnent pas ensemble du point de vue de l'utilisation des

matières premières. Leur grès sont répartis dans des groupes de composition bien différents.

- 29 On voit également que les productions de glaçure verte des fours de Ban Nong Ku Noy et Kok Prasat, situés au sud, peuvent correspondre aux mêmes matières premières car on ne les retrouve pratiquement que dans le groupe Vr2. Toutefois, dans ce groupe on retrouve aussi des grès d'autres sites. Cette matière première n'a pas été exclusivement utilisée par ces deux sites. Peut-être peut-on faire l'hypothèse d'un niveau de standardisation plus important à Ban Nong Ku Noy et Kok Prasat, à moins qu'il ne s'agisse d'un biais lié à notre ramassage et échantillonnage.
- 30 Par contre, pour tous les sites plus centraux sur la carte, à savoir Ban Tapang Yai, Ban Thanon Noy, Ban Saitho, Ban La Hok Ta Beng et Ban Nong Thong, il ne peut être fait de regroupement particulier en fonction des groupes de composition chimique. On peut simplement dire qu'ils ont tous utilisé des argiles très siliceuses pour produire les grès à glaçure verte. A Ban Thanon Noy, une seule argile a été utilisée car tous les grès à glaçure verte se retrouvent dans un seul groupe Vr1, alors que les grès à glaçure brune et les non glaçurés se répartissent dans 6 groupes chimiques. Le niveau de standardisation était-il plus élevé pour les grès à glaçure verte ?

Conclusion

- 31 Les analyses chimiques ont permis de confirmer que les matières premières utilisées par les potiers du Buriram pour fabriquer les grès non glaçurés et ceux à glaçure brune étaient les mêmes, assez grossières contenant de nombreux nodules d'oxyde de fer, alors que celles utilisées pour les grès à glaçure verte sont nettement différentes, plus fines et ne contenant que très peu d'oxyde de fer. Toutefois, il est apparu que sur certains sites de fours, notamment Ban La Hok Ta Beng, Ban Saitho et Ban Kok Yai, les potiers n'ont pas sélectionné leurs argiles en fonction des objets produits, puisque l'on retrouve des grès à glaçure brune et d'autres à glaçure verte avec les mêmes compositions.
- 32 Les matières premières argileuses ayant servi à la fabrication de tous ces grès sont très riches en silice et contiennent vraisemblablement de la kaolinite qui est le minéral argileux le plus présent dans les sols du plateau au nord-ouest de la Thaïlande (Khorat plateau)¹¹. Bien souvent d'autres minéraux argileux lui sont associés, comme la vermiculite, la smectite et l'illite. La présence d'oxydes de fer sous forme d'hématite, de goethite ou de magnétite varie selon la nature du matériau parent et de la pédogénèse des sols¹². Les quelques analyses chimiques d'argiles prélevées lors de nos prospections à Ban Kruat montrent des teneurs très élevées en silice et des teneurs en éléments alcalins et alcalino-terreux typiques des argiles kaolinitiques. Les teneurs en oxyde de fer varient entre 1,3 et 4,8%. Sur les différents prélèvements d'argile effectués, un seul présentait une composition assez proche de certains grès à glaçure verte et son analyse minéralogique par diffraction des rayons X avait révélé la présence de kaolinite, de smectite, d'illite (peut-être interstratifiée) et de quartz.
- 33 Les analyses confirment également l'existence d'un grand nombre de groupes de composition quels que soient les types de grès produits, ces groupes compositionnels n'étant pas caractéristiques d'un site de four en particulier même si quelques rapprochements ont pu être constatés (voir *supra*). La variété de compositions des grès du Buriram est vraisemblablement liée à la multiplicité des fours, plus d'une centaine

ont été signalés. Les matières premières argileuses ont pu être prélevées en de multiples petits affleurements, et à chaque site de four peut correspondre des pratiques potières différentes avec des habitudes de préparation de la pâte céramique propres. Il ne faut pas oublier le facteur chronologique qui joue certainement un rôle. On note en effet des disparités entre des sites où la production des grès verts semble dominante, comme par exemple les sites de Lahan Sai ou les fours de Ban Kok Yang et ceux où les grès à glaçure brune ou noire sont majoritaires comme Ban Kok Yai (fig. 5) et qui semblent les plus récents. Il faut peut-être également chercher une raison technique à cette évolution, comme une éventuelle raréfaction des ressources en argile blanche. C'est une hypothèse à envisager, mais difficilement démontrable, tant que ces gisements n'ont pas été identifiés.

BIBLIOGRAPHIE

BROWN *et al.* 1974

Roxanna Brown, Vance Childress, Michael Gluckman, « A Khmer Kiln site - Surin Province », *Journal of The Siam Society* 62(2), 1974, p. 239-252.

CERANGKOR 2015

Armand Desbat (dir.), avec la collaboration de Alain de Bernet, Socheat Chea, Myongduk Choi, Ranet Hong, Valérie Thirion-Merle, Kaseka Phon, Christophe Pottier, Dominique Soutif, *Recherches sur les ateliers de potiers angkoriens, Rapport programme Cerangkor, MAE, 2015. Rapport inédit.*

COURBIN 1988

Paul Courbin, *La fouille du Sras Srang*, Paris, EFEO, Collection de textes et documents sur l'Indochine XVII, 1988.

DESBAT 2020

Armand Desbat, « New data on the chronology of Khmer stonewares », in Helen Lewis (éd.), *Papers from the Fourteenth International Conference of the European Association of Southeast Asian Archaeologists EurASEAA14, Volume II, Material Culture and Heritage*, Oxford, Archeopress, 2020, p. 63-75.

EA 2009

Darith Ea, « New Data on the Distribution of Khmer ceramic Kilns and the Study of Ceramics », in B. McCarthy, E.S. Chase, L.A. Cort, J.G. Douglas, P. Jett (éd.), *Scientific Research on Historic Asian Ceramics: Proceeding of the fourth Forbes Symposium at the Freer Gallery of Art and Arthur M. Sackler Gallery*, Washington DC, Archetype Publications with the Freer Gallery of Art, 2009, p. 207-214.

EA, 2010

Darith Ea, *Angkorian Stoneware Ceramics : The Evolution of Kiln Structure and Ceramic Typology*, Dissertation submitted for the degree of Doctor of Philosophy, Osaka Othani University, 2010.

FINE ART DEPARTMENT (Thailand) 1989

Fine Art Department, *Ancient Kiln Sites in Buriram Province*, Bangkok, Fine Arts Department, 1989.

GROSLIER 1957

Bernard Philippe Groslier, « Excavations at the Royal Palace of Angkor Thom, preliminary report », in Dénes Sinor (éd.), *Proceedings of the Twenty-Third International Congress of Orientalists, Cambridge, 21st-28th August 1954*, Londres, The Royal Asiatic Society, p. 28.

GROSLIER, 1964

Bernard Philippe Groslier, « Rapport de la conservation d'Angkor (RCA), Banteay Kdei - Sras Srang, esplanade occidentale », Archives de l'École française d'Extrême Orient, Paris, 1964.

Khwanyuen 1985

Sathaporn Khwanyuen, « The Excavations of Baranse Kiln Site, Thailand », *SPAFA Final Report, Technical Workshop on Ceramics*, Bangkok, SPAFA, 1985, p. 137-168.

MAFKATA-CERANGKOR 2016

Christophe Pottier, Armand Desbat (dir.), avec la collaboration de Alain de Bernet, Myongduk Choi, Ranet Hong, Valérie Thirion-Merle, Nicolas Nauleau, S. San, Dominique Soutif, Sary Van, *Rapport programme MAFKATA-CERANGKOR, MAE, 2016*. Rapport non publié.

MAFKATA-CERANGKOR 2018

Christophe Pottier, Armand Desbat (dir.), avec la collaboration de Socheat Chea, Valérie Thirion-Merle, Gisela Thierrin-Michael, Nicolas Nauleau, Sophom Nhoem, *Rapport programme MAFKATA-CERANGKOR, MAE, 2017*. Rapport non publié.

NATTHAPATRA 1990

Chandavij N. Natthapatra, « Ancient Kiln sites in Buriram Province, Northeastern Thailand », in Ho Chuimei (éd.), *Ancient Ceramic Kiln Technology in Asia*, Hong Kong, University of Hong Kong, Centre of Asian Studies, 1990, p. 230-243.

ROONEY, SMITHIES 1992

Dawn F. Rooney, Michael Smithies, « The Khmer kilns of ban Ya Kha », *Journal of Siam Society*, 85(1/2), p. 151-159.

SRISUCHAT, SRISUCHAT 1989

Tharapong Srisuchat, Amara Srisuchat, « Introducing Buriram Ceramics and Kilns », *The Silpakorn Journal* 33(2), p. 42-52.

SUDDHIPRAKARN *et al.* 1985

Anchalee Suddhiprakarn, Irb Kheoruenromne, Pramualpong Sindhusen, Kannica Yoothong, « Clay minerals and iron oxides of selected red and yellow soils in north-east plateau and south-east coast, Thailand », *Kasetsart Journal. Natural Science* 19, 1985, p. 265-271.

THIRION-MERLE 2014

Valérie Thirion-Merle, « Spectrométrie de fluorescence X », in P. Dillmann, L. Bellot-Gurlet (dir.), *Circulation et provenance des matériaux dans les sociétés anciennes*, Paris, Ed. des Archives contemporaines, Collection « Sciences Archéologiques », 2014, p. 291-297.

THIRION-MERLE *et al.* 2019

Valérie Thirion-Merle, Gisela Thierrin-Michael, Armand Desbat, « Archaeometrical study of Khmer Stoneware of the Angkorian period: some results of the Cerangkor Project », *Archaeometry* 61(6), 2019, p. 1246-1263.

THIRION-MERLE *et al.* 2020

Valérie Thirion-Merle, Gisela Thierrin-Michael, Armand Desbat, Ranet Hong, « The kiln sites of the "Torp Chey" area (Cambodia): production and distribution », *BEFEO* 106, p. 195-223.

WAKSMAN 2014

Sylvie Yona Waksman, « Études de provenance de céramiques », in Philippe Dillmann, Ludovic Bellot-Gurlet (dir.), *Circulation et provenance des matériaux dans les sociétés anciennes*, Paris, Ed. des Archives contemporaines, Collection « Sciences Archéologiques », 2014, p. 195-215.

YOOTHONG *et al.* 1997

Kannica Yoothong, Lek Moncharoen, Pisuth Vijarnson, Hari Eswaran, « Clay mineralogy of Thai soils », *Applied Clay Science* 11, 1997, p. 357-371.

NOTES

1. GROSlier 1957, 1964 ; COURBIN 1988 ; EA 2009, 2010.
2. Initié en 2008, CERANGKOR est un programme de recherche collaboratif du CNRS, en association avec l'École française d'Extrême-Orient (Centre de Siem Reap, Cambodge) et l'APSARA (Authority for the Protection and Management of Angkor and the Region of Siem Reap). Il a été financé par la commission des fouilles du Ministère des Affaires étrangères et européennes.
3. DESBAT 2020.
4. THIRION-MERLE *et al.* 2019 ; THIRION-MERLE *et al.* 2020.
5. KHWANYUEN 1985 ; SRISUCHAT, SRISUCHAT 1989 ; NATTHAPATRA 1990.
6. BROWN *et al.* 1974 ; ROONEY, SMITHIES 1992 ; CERANGKOR 2015 ; MAFKATA-CERANGKOR 2016, 2018.
7. THIRION-MERLE 2014 ; WAKSMAN 2014.
8. Mafkata-Cerangkor 2018.
9. La méthode mise en œuvre est une classification ascendante hiérarchique utilisant les données chimiques centrées réduites, les distances euclidiennes et le critère d'agrégation dit du lien moyen. Les calculs ont été réalisés à partir de 17 constituants sur les 24 analysés.
10. Ne sont pas pris en considération dans cette classification les grès à glaçure brune ayant été fabriqués avec les mêmes argiles que les grès à glaçure verte.
11. SUDDHIPRAKARN *et al.* 1985.
12. YOOTHONG *et al.* 1997.

INDEX

Année de l'opération : 2019

peuples <https://ark.frantiqu.fr/ark:/26678/pcrtkmkmzSc1dj>

chronologie <https://ark.frantiqu.fr/ark:/26678/crtLHPYnHVML5>

lieux <https://ark.frantiqu.fr/ark:/26678/pcrtOUVodanE3h>

Thèmes : EFEO

sujets <https://ark.frantiqu.fr/ark:/26678/pcrt1DMOWvDF4j>, <https://ark.frantiqu.fr/ark:/26678/pcrtt7G9pnQlu1>, <https://ark.frantiqu.fr/ark:/26678/pcrtxP5I53Pj0s>

AUTEURS

VALÉRIE THIRION-MERLE

CNRS, UMR 5138 Archéologie et Archéométrie ArAr, Maison de l'Orient et de la Méditerranée
Jean Pouilloux

ARMAND DESBAT

CNRS, UMR 5138 Archéologie et Archéométrie ArAr, Maison de l'Orient et de la Méditerranée
Jean Pouilloux

RANET HONG

EFEO Centre de Siem Reap, Cambodge