



Ministère de l'Economie,  
des Finances et  
de l'Industrie

DOCUMENT PUBLIC

## *Mémento roches et minéraux industriels*

### *Le kaolin*

Etude réalisée dans le cadre des actions de Service public du BRGM 97-G-185

décembre 1997

R 39949







Ministère de l'Economie,  
des Finances et  
de l'Industrie

DOCUMENT PUBLIC

## *Mémento roches et minéraux industriels*

### *Le kaolin*

Etude réalisée dans le cadre des actions de Service public du BRGM 97-G-185

décembre 1997

R 39949



**Mots clés :** Kaolin, Production, Marchés, Utilisations, Communauté européenne, Mondiale.

**En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :**

**BRGM (1997) - Mémento roches et minéraux industriels - le kaolin. Rap. BRGM R 39949, 42 p., 7 fig., 8 tabl.**

© BRGM, 1997, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

## Synthèse

Le kaolin est un silicate d'alumine hydraté qui, après épuration, est utilisé pour près de 60 % dans l'industrie papetière, 20 % dans l'industrie céramique et dans une moindre mesure pour la fabrication des peintures, des plastiques et caoutchoucs.

La production mondiale était de 25 Mt en 1995, essentiellement en provenance des Etats-Unis, Angleterre et Brésil. Le marché est dominé par deux grandes sociétés English China Clay (U.K.) et Imetal (France). La France ne produit que 300 000 t par an. L'Union Européenne a importé 1 871 000 t de kaolin en 1995.

La kaolinite est un minéral argileux formé aux dépens de roches feldspathiques, il peut être rencontré soit dans des gîtes primaires sous forme résiduelle, soit après transport et dépôt en milieu continental sous forme de sable kaolinique ou d'argilite. La teneur du minerai en kaolin  $< 40 \mu\text{m}$  varie de 7 à 85 % dans les gisements sédimentaires et de 25 à 50 % dans les gisements primaires. Les réserves des plus gros gisements dépassent 100 Mt ; on peut estimer que les réserves connues représentent 170 ans de consommation.

Il est utilisé en raison de sa blancheur (80 à 88 % ISO), sa "brillance", sa réfractarité (39,5 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), sa faible granularité et sa faible viscosité en suspension dans l'eau.

Dans l'industrie du papier, il intervient comme charge ou comme pigment de couchage, concurremment avec le talc et le carbonate de calcium. Dans les céramiques fines, notamment la porcelaine, sa réfractarité et sa blancheur sont particulièrement appréciées ; alors que dans les peintures, plastiques et caoutchoucs, il améliore la stabilité dimensionnelle et l'inertie chimique.

Son utilisation est fortement concurrencée dans l'industrie papetière par le carbonate de calcium sous forme micronisée dont le coût est inférieur. Il représente néanmoins encore près de 38 % des charges minérales utilisées par cette industrie en France.

Sa consommation dans l'industrie du papier devrait croître à un rythme moindre que celui de cette industrie : 1 à 3 % sur le moyen terme en Europe, mais la consommation de produits de spécialités à forte valeur ajoutée restera importante dans le secteur du couchage.

Les travaux qui font l'objet du présent document ont été réalisés dans le cadre des opérations de Service public confiées au BRGM par le ministère de l'Industrie (fiche 1997 : 97-G-185).

## Sommaire

<b>Introduction</b> .....	7
<b>1. Production</b> .....	9
1.1. Niveau mondial.....	9
1.2. Niveau européen.....	9
1.3. Réserves - Nouveaux projets.....	11
1.4. Ventilation de la production par secteur d'utilisation.....	13
1.5. Evolution de la demande.....	13
1.6. Les flux.....	14
1.7. Les prix.....	14
<b>2. Géologie du kaolin</b> .....	15
<b>3. Gisements</b> .....	17
3.1. Gisements primaires.....	17
3.2. Gisements sédimentaires.....	19
<b>4. Propriétés et tests de caractérisation</b> .....	21
4.1. Couleur sur cru.....	21
4.2. Aptitude au blanchiment.....	21
4.3. Granularité - Surface spécifique.....	22
4.4. Viscosité.....	22
4.5. Abrasivité .....	22
4.6. Capacité de rétention .....	23

<b>5. Utilisations et spécifications industrielles.....</b>	<b>25</b>
5.1. Fabrication du papier.....	25
5.2. Les céramiques et réfractaires .....	28
5.3. Les peintures.....	29
5.4. Les plastiques .....	30
5.5. Les caoutchoucs .....	30
5.6. Ciments blancs.....	31
5.7. Fibres de verre.....	31
5.8. Autres utilisations du kaolin .....	31
<b>6. Extraction et mode de traitement du kaolin .....</b>	<b>33</b>
6.1. Délayage, classification et séchage .....	33
6.2. Traitements spéciaux.....	34
<b>7. Produits de substitution au kaolin, évolution récente et perspectives du marché.....</b>	<b>35</b>
7.1. Fabrication du papier.....	35
7.1.1. Evolution récente .....	36
7.1.2. Perspectives .....	36
7.2. Autres utilisations .....	38
<b>Bibliographie sommaire .....</b>	<b>41</b>

## Liste des figures

Fig. 1 - Localisation des principales carrières de kaolin en exploitation en France .....	18
Fig. 2 - Différents types de papier vus au microscope .....	24
Fig. 3 - Exemple de schéma d'une installation de traitement de kaolin par voie humide (Kaolins d'Arvor).....	32
Fig. 4a - Evolution de la consommation des charges minérales en Europe occidentale entre 1972 et 1995 .....	37
Fig. 4b - Evolution de la consommation des charges minérales en Europe pour la fabrication des papiers.....	37
Fig. 5 - Evolution de la consommation des charges minérales dans la peinture en Europe occidentale.....	39
Fig. 6 - Evolution de la consommation des charges minérales dans les plastiques en Europe occidentale.....	39
Fig. 7 - Evolution de la consommation des charges minérales dans le caoutchouc en Europe occidentale.....	39

## Liste des tableaux

Tabl. 1 - Principales sociétés productrices de kaolin au niveau mondial.....	8
Tabl. 2 - Principales sociétés productrices de kaolin dans l'Europe des quinze.....	10
Tabl. 3 - Réserves et production mondiales de kaolin : une estimation .....	12
Tabl. 4 - Caractéristiques de quelques gisements de kaolin .....	16
Tabl. 5 - Caractéristiques de kaolins commercialisés comme produits de couchage en papeterie .....	27
Tabl. 6 - Caractéristiques de kaolins commercialisés comme produit de charge en papeterie .....	28
Tabl. 7 - Granularités généralement admises pour le kaolin dans l'industrie papetière ..	28
Tabl. 8 - Caractéristiques de kaolins commercialisés pour l'industrie céramique .....	29

## Introduction

L'usage du kaolin dans la porcelaine chinoise remonte à plus de 3000 ans, c'est au 18ème siècle que les européens en ont obtenu les premiers échantillons provenant d'un gîte nommé "Kauling" ou "haute crête", qui a ensuite donné son nom au minéral.

Le kaolin commercialisé est un produit pur composé de kaolinite, silicate d'alumine hydraté constitué de feuillets élémentaires dont la taille est inférieure à 2 µm.

Outre les céramiques, il entre dans la fabrication du papier, du caoutchouc, des peintures et des plastiques.

Le présent mémento concerne exclusivement le kaolin épuré ; ne rentrent pas dans le cadre de cette étude le kaolin brut ainsi que les autres types d'argiles kaoliniques commercialisées, qui font l'objet du mémento "argiles nobles pour produits céramiques".

Après avoir présenté les principaux aspects de la production et du marché, nous décrirons la géologie du kaolin ainsi que les secteurs d'utilisations avec leurs différentes spécifications. Les modes d'exploitation et de traitement du minerai seront également abordés.

Nous tenterons enfin d'envisager les perspectives du marché compte tenu des évolutions technologiques en insistant sur les produits de substitution.

Mémento roches et minéraux industriels - le kaolin

societe (groupe)	filiale pays	capacité (kt) 1995	district	type Gisement	réserves p (prouvées) pro (probables) pos (possibles)	Utilisations				
						papier ch (charge) co (couchage)	céramique	fibre de verre	Autres charges	
English China Clay International (E.C.C.I.)	E.C.C. UK	3000	Cornouailles	primaire	?	**	*	*	*	
" "	E.C.C. USA	2200	Géorgie, Caroline du Sud	sédimentaire	p : 50 Mt	**	*	*	*	
" "	E.C.C. do Brazil Mineracao Ltda	430	Sao Paulo		?	* ch	*	*	*	
Imetal	Dry Branch Kaolin Co D.B.K ( USA)	1200	Géorgie, Caroline du Sud	sédimentaire	p : 60 à 80 Mt	***	*	/	*	
Imetal	North Kaolin USA	300	Géorgie, Caroline du Sud	sédimentaire	p : 31 Mt	**	*	/	*	
Imetal ( 49%)+ A.K.W.+ Mendes	Rio Capim Cauim ( R.C.C.) Brésil	280 560 (1997)	Etat de Para (Belem)	sédimentaire	p : 65 Mt	*** (CO)	/	/	/	
Imetal	C.E Minerals USA	500	Géorgie, Caroline du Sud	sédimentaire	?	/	***	/	/	
Thiele Kaolin Co	USA	1500	Géorgie, Caroline du Sud	sédimentaire	?	**	*	*	*	
Engelhard Corp	USA	1300	Géorgie, Caroline du Sud	sédimentaire	?	**	*	/	*	
J.M. Huber Corp.	USA	1000	Géorgie, Caroline du Sud	sédimentaire	?	*	*	*	*	
Caemi Mineracao e Metalurgica S.A.	Cauim de Amazonia (Cadam) S.A Brésil	800 (1995) 1500 (1997)	Etat d'Amapa rivière Jari	sédimentaire	pos : > 30 Mt	*** (CO)	/	/	/	
Amberger Kaolinwerke Edward Kick GmbH (A.K.W.)	Allemagne	600	Bavière Saxe	sédimentaire primaire	?	*	*	*	*	
Pt Alter Abadi	Indonésie	550	Ile de Belitung	primaire	?	*	**	/	*	
groupe United catalysts Inc. USA	Albion kaolin USA	400	Géorgie, Caroline du Sud	sédimentaire	?	/	*	*	*	
Para Pigmentos S.A. C.V.R.D, Mitsubishi, Cadam	Brésil	300	Etat de Para	sédimentaire	p : 150 Mt	*** (CO)	/	/	/	
Zapadoceske kaolinove a keramicke Zavody As (Z.K.S.)	Tchéquie	300 (1998)	Horní Brza	sédimentaire	p : 252 Mt (peys) pos : 696 Mt	**	*	*	*	
Evans clays Co.	U.S.A.	300	Géorgie, Caroline du Sud	sédimentaire	15 Mt	**	*	*	*	
Kentucky Tennessee Clay co. (Hecla Mining)	U.S.A.	300	Géorgie, Caroline du Sud	sédimentaire	?	*	***	/	*	
Wilkinson kaolin Associates ltd.	U.S.A.	300	Géorgie, Caroline du Sud	sédimentaire	7 Mt	*	/	**	*	
<b>TOTAL (kt)</b>		<b>14180</b>	faute de donnée disponible, la Corée n'est pas prise en compte				30% primaire 70% sédimentaire			
sources: Industrials Minerals, European Minerals Yearbook, L'Industrie Céramique et Verrière										

Tabl. 1 - Principales sociétés productrices de kaolin au niveau mondial.

## 1. Production

### 1.1. NIVEAU MONDIAL (tabl. 1)

La production mondiale était estimée par le B.G.S. ("British Geological Survey") entre 24 et 25 Mt en 1995, soit l'équivalent des niveaux enregistrés pour l'année 1989, après un minimum atteint en 1993 à 22,6 Mt.

Deux groupes producteurs dominant en contrôlant plus du quart des capacités de production (voir tabl. 1) :

- English China clay (U.K.) : 5,63 Mt\*
- Imetal (France) : 2 Mt.

\* compte non tenu des nouvelles capacités de production contrôlées en Chine depuis 1997

Six zones ont assuré une production supérieure ou voisine à 1 Mt en 1995 :

- ceinture Géorgie - Caroline du Sud aux Etats-Unis 8,8 Mt
- Corée du Sud 2,8 Mt
- Cornouailles (U.K.) 2,5 Mt
- Nord-Est du Brésil 1,1 Mt
- Allemagne 1,140 Mt
- Ukraine 0,950 Mt.

### 1.2. NIVEAU EUROPEEN (tabl. 2)

Dans l'Europe des quinze, la production s'élevait en 1994 à 4,639 Mt (E.M.Y. 1997), soit une utilisation de 80 à 85 % des capacités de production disponibles (voir tabl. 2).

En 1994, la production par pays y était la suivante (E.M.Y. 1997) :

U.K.	2,6 Mt	Suède	0,1 Mt
Allemagne	1,0 Mt	Autriche	0,087 Mt
France	0,3 Mt	Portugal	0,75 Mt
Grèce	0,2 Mt	Italie	0,10 Mt
Espagne	0,150 Mt	Danemark	0,04 Mt

Notons que parmi les pays d'Europe Centrale, la Tchéquie dispose d'une capacité de production significative de 300 000 t.

Irlande, Hollande et Finlande n'ont pas de production répertoriée.

Mémento roches et minéraux industriels - le kaolin

societe (groupe)	pays	capacité (kt) 1995	district région	gisement	sous produits	Utilisations			
						papier ch (charge) co (couchage)	céramique	peinture	Autres charges
English China Clay E.C.C.	U.K.	3000	Cornouailles	St Austell		*	*		*
Amberger Kaolinwerke Edward Kiock GmbH (A.K.W.)	Allemagne	600	Bavière	hirschau	feldspath, sable siliceux	?	?	?	?
The goonvean and Rostowraek China clay Co	U.K.	230	Cornouailles	St Austell	feldspath	**	*		
Caminauer kaolinwerk GmbH (A.K.W.)	Allemagne	200	Saxe (Bautzen)	Konigswartha	sable siliceux feldspath	**			*
Watts Blake Beame and Co P.L.C. (W.B.B.)	U.K.	140	Devon		feldspath	*	**		*
Kaolin und tonwerke Salzmunde GmbH (A.K.W.)	Allemagne	120	Saxe	Moderau, Spergau Etzdorf Roszbach		*	**		*
Société kaolinère Armoricaïne (SOKA)	France	100	Bretagne	Quessoy			**		*
Société minière des kaolins du Morbihan (groupe Minéral Harwanne)	France	100	Bretagne	Kerbrien	micas sable siliceux		**		*
Kemnitzter Kaolinwerke GmbH (A.K.W.)	Allemagne	100	Saxe (oschatz)	Groppendorf	sable siliceux		**		
Gebruder Dorfner GmbH	Allemagne	100	Bavière	Amberg Sulzbach hirschau	sable siliceux feldspath	*	*	*	*
Silver and Barytes ores mining Co.	Grèce	90	Ile de Milos			*			*
Kaolins d'Arvor (La Source C.M.)	France	75	Bretagne	Ploemeur	muscovite	*	*		
Expl. Ceramias Espanolas S.A. (rosenthal Ag.)	Espagne	60	Lugo	Burela		*	*	*	
Caobar	Espagne	50	Guadalajara	Poveda de la Sierra	sable siliceux		**		*
Kamig	Autriche	50		Kriechbaum	sable siliceux argile				
Caolines de Vimianza (Cavisa) (Freeport Mac Moran)	Espagne	45	Galice	Vimianzo	muscovite	* ch	*		*
Caosil (ECESA)	Espagne	45	Guadalajara	Poveda de la Sierra	sable siliceux	*			
Société des kaolins du Finistère (Groupe Minéral Harwanne)	France	50	Bretagne	Berrien Loqueffret	sable siliceux	*	**		*
Société des kaolins de Beauvoir (S.K.B.) (LaSource C.M.)	France	30	Massif Central	Echassières	feldspath (Na) minéraux de Li		**		
Société Fayol	France	30	Drôme	Larnage					ciment blanc réfractaires
Cauliminas (Groupe Minéral Harwanne)	Portugal	30	Rio Maior nord de Lisbonne	Alcanêdes Xartinho	sable siliceux		**		*
Erbstöh Geisenheim GmbH	Allemagne	25		Geisenheim Lohrheim	/	*	*		*
Saibraes Arenas Lda (Groupe Minéral Harwanne)	Portugal	25	Rio Maior nord de Lisbonne	Casal do Bracais	sable siliceux argile pour terre cuite		**		*
Silca (Sibeleo)	Espagne	25	Teruel Valence	Riodeva	sable siliceux argile pour terre cuite		**		*
<b>TOTAL</b>		<b>5320</b>							78% 22% primaire sédimentaire

sources: Industrial minerals, European Minerals Yearbook, l'Industrie céramique et verrière

Tabl. 2 - Principales sociétés productrices de kaolin dans l'Europe des quinze.

### 1.3. RESERVES - NOUVEAUX PROJETS

Les réserves connues au niveau mondial sont abondantes et peuvent être évaluées à plus de 4,4 Gt (tabl. 3), soit environ 170 ans de consommation au rythme actuel.

De nombreux pays recèlent un potentiel encore important, en particulier, le Brésil (Nord-Est), la Chine et l'Ukraine.

Entre 1995 et 1997, pour accompagner la reprise de la demande, ainsi que pour s'adapter aux nouvelles spécifications à plus forte valeur ajoutée, notamment dans le couchage papier, d'importantes augmentations de capacité ont été mises en oeuvre, elles totalisent : 2,313 Mt.

Rio Capim Caulim (Brésil)	0,560 Mt	couchage papier
Para Pigmentos S.A.(Brésil)	0,300 Mt	couchage papier
Cadam (Brésil)	0,850 Mt	couchage papier
Albion Kaolin (U.S.A.)	0,100 Mt	divers
Dry Branch Kaolin (U.S.A.)	0,050 Mt	kaolin calciné (couchage)
E.C.C.I. (U.S.A.)	0,050 Mt	kaolin calciné (couchage)
Engelhard (U.S.A)	0,050 à 0,1 Mt	kaolin calciné (couchage)
Evans Clay (U.S.A.)	0,050 Mt	non communiqué
M & M Clays( U.S.A)	0,025	céramique
National Kaolin (U.S.A.)	0,028 Mt	céramique, réfractaire, chimie
Thiele Kaolin (U.S.A.)	0,250 Mt	divers.

D'autres projets sont prêts à approvisionner le marché, les plus importants sont au Brésil, avec le gisement de C.P.R.M. (560 Mt de réserves dans l'état de Para), en Ukraine, en Indonésie (P.T. Alter Abadi).

PAYS	Reserves		Production
	prouvées ( Mt )	possibles ( Mt )	1994 (Mt)
Etats Unis		> 500	8,32
Tchéquie	252	696	2,71
Angleterre		> 200	2,6
Corée du Sud	?	?	2,6
Allemagne		50	1
Chine	> 10 (est)	> 100 ( est)	1 (1996)
Ukraine	200 à 300 (est)	> 200 (est)	0,8
Indonésie		200	0,8
Brésil	> 700	> 1000 (est)	0,76
Inde		50 à 100	0,7
Thaïlande	125	?	0,415
France		5 à 10	0,3
Afrique du sud	?	?	0,25
Espagne		10	0,15
Australie		> 2	0,15
Vietnam	200	?	0,1 - 0,2
Portugal		1 à 3	0,075
<b>TOTAL</b>	1487	3014	21,63

30% primaire 70% sédimentaire	20% primaire 80% sédimentaire
----------------------------------	----------------------------------

source: Industrial Minerals; European Minerals Yearbook.

Tabl. 3 - Réserves et production mondiales de kaolin : une estimation.

#### 1.4. VENTILATION DE LA PRODUCTION PAR SECTEUR D'UTILISATION

Par référence au marché américain qui, en 1995, a consommé 6 Mt de kaolin, la consommation se répartissait de la façon suivante (Industrials Minerals 1996) :

- papeterie couchage	2,7 Mt	45 %
- papeterie charge	1,0 Mt	17 %
- céramique	0,57 Mt	9,5 %
- réfractaire	0,58 Mt	9,6 %
- fibre de verre	0,39 Mt	6,5 %
- peinture	0,3 Mt	5 %
- divers	0,46 Mt	76 % (plastiques caoutchouc).

Le secteur papetier domine donc largement avec plus de 62 % suivi par le secteur des céramiques et réfractaires (19,1 %).

En France, la part de l'industrie papetière s'élèverait à 58 % (327 000 t pour une consommation de 567 317 t en 1994 d'après la Copacel).

#### 1.5. EVOLUTION DE LA DEMANDE

La production mondiale de kaolin aurait augmenté de 5 % en 1995 par rapport à 1994 d'après le B.G.S.

L'évolution de la demande est surtout portée par l'industrie papetière en reprise notable.

La croissance prévisible de cette industrie sur le moyen terme est contrastée suivant les zones géographiques, aussi bien en raison de techniques de production différentes que du décalage des cycles économiques.

- Europe	1 à 3%
- Amérique du Nord	3 à 6%
- Asie Pacifique	> 10% (avant la crise de 1997).

La croissance de la demande de kaolin dans le même temps devrait être inférieure en raison de la concurrence d'autres additifs et produits de charge : carbonates micronisés (G.C.C.) ou carbonates précipités (P.C.C.). Ainsi, si le kaolin reste l'additif le plus utilisé pour la papeterie, sa part décroît régulièrement ; de 43 % en 1988, il ne représentait plus que 38% en 1995, en France, d'après la Copacel.

Cependant, la demande pour les produits de spécialité augmente, notamment les produits de couchage à forte brillance (kaolin calciné en particulier) comme l'attestent les investissements dans les nouvelles capacités de production.

## 1.6. LES FLUX

Les échanges de matière première ont tendance à se mondialiser malgré les coûts de transport.

L'union européenne a importé 1 871 000 t de kaolin en 1995. Les Etats-Unis, avec un total de 969364 t, ont assuré 52 % des importations et le Brésil (412 684 t) 22 %.

Les importations françaises en 1995 s'élevaient à 379 kt dont 125 kt de provenance extra-européenne.

## 1.7. LES PRIX

Le large spectre des spécifications rend difficile une information sur les prix, les qualités s'étalant des kaolins peu raffinés pour les charges céramiques à des produits calcinés pour le couchage papier. Des prix indicatifs, sortie usine sont les suivants :

- couchage papier	100 à 180	US\$/t
- charge papier	75 à 100	US \$/t
- charge céramique	60 à 120	US \$/t
- céramique fine (porcelaine)	130 à 220	US\$/t
- pigment calciné	400 à 500	US\$/t.

## 2. Géologie du kaolin

Le kaolin commercialisé est essentiellement constitué de kaolinite, minéral argileux de formule chimique  $Al_4(OH)_8 Si_4O_{10}$  dont la forme cristallographique élémentaire est représentée par des plaquettes pseudo-hexagonales (de moins d'un micron à plus de 20 microns).

Des dénominations spécifiques existent suivant les présentations :

- assemblages en livres : nacrite,
- empilements en vermicule : dickite.

Les kaolinites dites désordonnées ont une cristallinité imparfaite, sans assemblages définis.

La composition chimique théorique est la suivante : 39,5 %  $Al_2O_3$ , 46,5 %  $SiO_2$  et 14 %  $H_2O$  (dans le réseau). Sa teneur élevée en alumine lui confère des propriétés réfractaires qui ont justifié sa valorisation initiale dans les céramiques. Au-dessus de 400°C, la kaolinite perd son eau de cristallisation et sa structure cristalline spécifique.

L'halloysite, plus rare, est une kaolinite hydratée, aux cristaux enroulés en forme de tubes, qui se distingue de la kaolinite s.s. par une plus grande plasticité, d'où sa demande dans l'industrie céramique.

Minéralogie											
Gîte	Reserves Potentielles	Type	Age	Puissance	Découverte D/E	kaolinite	quartz	feldspath	micas	autres	Utilisations
Cornouailles St Austell	> 200 Mt (estimé)	primaire	Trias à actuel	jusqu'à 50 m	faible à nulle	25 à 35 % < 40 µm	/	/	illite hydromuscovite	/	toutes
Géorgie Caroline du Sud	> 500 Mt	sédimentaire	Crétacé sup. Tertiaire inf.	jusqu'à 12 m 3 m en moyenne	faible	65 à 85 % < 2 µm	5 % > 45 µm	/	/	hématite Anatase	toutes
Brésil riv. Jari (Amapa) riv. Capim (Para)	1700 Mt	sédimentaire	Pliocène	25 à 32 m	1/3	75 % < 2 µm 60 % < 2 µm	/	/	/	/	couchage papier
Ukraine Prosyanovski	> 400 Mt	primaire	Granito-gneiss âge ?	jusqu'à 50 m	1/10	30 à 50 % < 2 µm	/	/	/	halloysite smectite	toutes
Allemagne Bavière Saxe	50 Mt (estimé)	sédimentaire primaire	Trias âge ?	?	?	12 % < 40 µm	76 % moy. 1 mm	12 % moy 1/10 mm	/	/	céramique papeterie
France Bretagne Drôme	5 à 10 Mt > 2Mt	primaire sédimentaire	Trias à actuel Eocène,	> 30 m 50 m	faible faible	25 à 45 % 7 %	93%	/	muscovite /	/	céram./papeterie fibre de verre
Espagne Centre Est	< 5 Mt	sédimentaire	Albien	5 à 25 m	1/2 à 7/1	7 à 10 % < 2 µm	75 à 85 %	3 à 5 %	muscovite	oxydes de fer magnétite	céramique peu pour papeterie

Tabl. 4 - Caractéristiques de quelques gisements de kaolin.

### 3. Gisements

La kaolinite comme tous les minéraux argileux se forme aux dépens des roches de la croûte terrestre, au cours de processus d'altération chimique complexes.

- **En liaison avec les eaux météoriques**, en milieu continental, au cours de processus pédogénétiques, préférentiellement développés en climat tropical, marqué par une forte pluviométrie (> 1m), des températures supérieures à 20°C et une alternance de saison.

La kaolinite constitue alors un produit résiduel, néoformé après l'hydrolyse des silicates potassiques (feldspath, muscovite), lessivage total des éléments alcalins et alcalino-terreux (K, Na, Ca), du fer et le départ d'une partie de la silice ; ce qui explique sa forte inertie chimique dans une tranche de pH entre 3 et 9. Ce lessivage s'accompagne d'une forte réduction de volume ; au total, les zones d'altération dépassent souvent 50 m d'épaisseur.

- **En liaison avec des circulations hydrothermales**, qu'il s'agisse de fluides magmatiques mésothermaux ou épithermaux, en particulier liés à l'activité volcanique récente, mais aussi des eaux météoriques réchauffées et mises en circulation suivant de véritables circuits de convection.

Les gisements résiduels sont qualifiés de primaires. Lorsque la kaolinite a été remobilisée et transportée, on parle de gîte sédimentaire, que ce dernier soit continental (fluvatile) ou deltaïque (épicontinental).

Les gîtes primaires représentent 78 % des gîtes exploités en Europe, en raison de l'importance des gîtes anglais de Cornouailles (voir tabl. 2) alors qu'au niveau mondial les gîtes sédimentaires dominent largement (70 %) compte tenu de la part de la ceinture Géorgie - Caroline du Sud aux Etat-Unis et des gisements du Nord-Est brésilien.

Le tableau 4 regroupe les caractéristiques principales des gîtes les plus importants.

#### 3.1. GISEMENTS PRIMAIRES

Ces gisements proviennent de la transformation en place de roches-mères feldspathiques de diverses natures : éruptive (granites, diorites quartziques, rhyolites, aplites...), métamorphique (gneiss, schistes... ) ou volcaniques (laves).

L'altération se développe au départ le long des zones à plus forte porosité : fractures, "shear zones" pour aboutir à une forme en entonnoir comme à Saint-Austell en Cornouailles avec un diamètre de l'ordre de un kilomètre et une profondeur pouvant dépasser 300 m.

La kaolinite dans ces gisements est souvent associée à des micas, des traces de sulfures, de la tourmaline, de la fluorite, de l'alunite, le "minerai" présentera donc un cortège

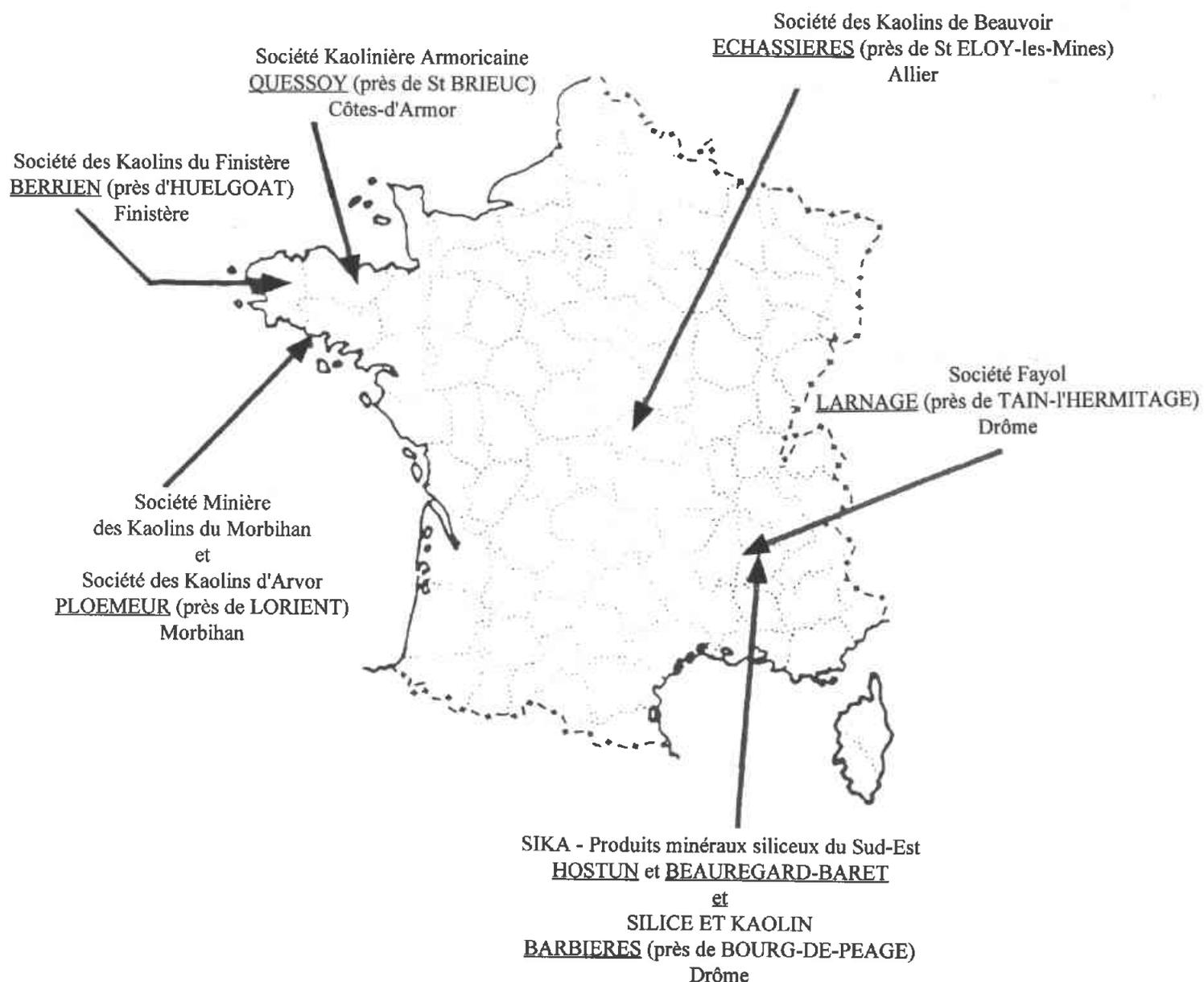


Fig. 1 - Localisation des principales carrières de kaolin en exploitation en France.

minéral plus important qui pourra constituer un problème au niveau du traitement, où des contraintes pour les spécifications.

D'une manière générale, la cristallinité du kaolin est plus importante dans ces gisements que dans les gisements sédimentaires.

Les "teneurs" en kaolin ( $< 40 \mu\text{m}$ ) varient de 25 à 50 %.

### **Quelques guides géologiques de prospection des gisements primaires**

Les principaux éléments à prendre en compte pour la prospection de kaolin de bonne qualité (en particulier pour l'industrie papetière) sont les suivants :

- présence d'un leucogranite (riche en muscovite, pauvre en fer), plus favorable pour la formation d'un kaolin blanc ;
- présence de phénomènes tectoniques ayant fracturé la roche, accroissant ainsi sa perméabilité ;
- existence de phénomènes de circulation de fluides faiblement minéralisés ayant hydrolysé les feldspaths, probablement favorisés par la présence de systèmes hydrothermaux à proximité ;
- présence d'un recouvrement ayant pu protéger le gisement de l'érosion.

Des études statistiques permettent de préciser que les meilleurs indices de kaolin sont préférentiellement (mais non exclusivement) :

- situés dans des massifs de leucogranites à gros grains ;
- liés, au moins spatialement, à des altérations de type greisen et des minéralisations en Sn-W ;
- liés à des filons de quartz-tourmaline ;
- situés à la périphérie des massifs granitiques.

Outre les gisements anglais de Cornouailles, le gisement d'Echassières (Allier), les gisements de Ploemeur (Morbihan) ont pour roche-mère un granite. Le gisement du Quessoy (Côtes d'Armor) provient de l'altération d'un orthogneiss à muscovite (fig. 1).

### **3.2. GISEMENTS SEDIMENTAIRES**

Les gisements de kaolin sédimentaire se rencontrent dans les dépôts continentaux à épicontinentaux, mis en place en général au cours de cycles transgression-régression. Ils peuvent être rencontrés à différentes époques géologiques: Trias, milieu du Crétacé, Tertiaire, durant lesquelles prévalait un climat de type tropical favorisant une intense altération.

La sédimentation des minéraux argileux transportés sous forme colloïdale par le réseau fluvial étant conditionnée par les alternances de saison, la dynamique au cours du transport mais, surtout, par les modifications de pH liées à la rencontre d'eaux salées, on comprendra que les plus grandes concentrations soient situées dans un environnement deltaïque.

Aux minéraux argileux sont associés des minéraux détritiques, quartz, feldspath et accessoirement hydroxydes de fer, muscovite, rutile, ilménite ; le spectre minéralogique est cependant plus réduit que pour les dépôts primaires.

Le minerai est soit un sable kaolinique (Hostun dans la Drôme, 7% de kaolin < 2  $\mu\text{m}$ ), plus ou moins feldspathique (Centre-Est de l'Espagne 7 à 15% kaolin < 2  $\mu\text{m}$ ), soit une argile holo-kaolinique (Géorgie - Caroline du Sud, Nord-est du Brésil : 60 à 65 % de kaolin < 2  $\mu\text{m}$ ).

Une partie de la kaolinite peut être néoformée in situ au détriment des feldspaths, sans qu'il soit toujours possible de faire la part de ces néoformations. Enfin, des recristallisations diagénétiques sont fréquentes.

La granularité du kaolin est en général plus fine que dans les gîtes primaires, les présentations cristallographiques plus élémentaires évitent souvent le recours à un délaminage.

### **Quelques guides géologiques de prospection des gisements sédimentaires**

Les gisements sédimentaires présentent en général des puissances exploitables plus réduites que les gisements primaires (bien qu'au Brésil, elles atteignent 50 m), les taux de découverte, c'est-à-dire l'épaisseur des "morts-terrains" recouvrant le dépôt, peuvent vite pénaliser son exploitabilité et le rendre non économique dans le cas de niveaux indurés. Sauf dans des cas exceptionnels, la puissance cumulée du recouvrement stérile ne devra pas excéder 5 fois celle du niveau à exploiter ( $D/E < 5$ ).

Les niveaux kaoliniques, s'ils peuvent couvrir de larges surfaces, présentent fréquemment de grandes variations latérales liées à l'environnement paléogéographique aussi bien qu'aux conditions de dépôt (chenaux, tectonique syn-sédimentaire), les travaux d'évaluation devront donc en tenir compte en prévoyant une maille de sondages suffisamment resserrée (100 x 100 m au moins).

Pour permettre la mécanisation d'une exploitation, une épaisseur minimale des dépôts de 2 m doit être préconisée.

La prise en compte précoce de la présence d'éléments pénalisants permettra d'orienter rapidement les recherches suivant le type d'usage auquel est destiné le kaolin.

Ainsi, quartz et feldspath fins (< 5  $\mu\text{m}$ ), difficiles à éliminer lors du traitement, peuvent engendrer une abrasivité pénalisante pour le couchage en papeterie, la présence de ce dernier peut également augmenter la teneur en  $\text{K}_2\text{O}$ .

La présence de smectite en faible quantité, en augmentant la viscosité peut rendre le produit impropre à un usage en papeterie. Oxydes de fer et de titane, constituent des éléments colorants nuisibles en céramique et en papeterie

## 4. Propriétés et tests de caractérisation

Le kaolin, nous l'avons vu, est caractérisé par sa blancheur et sa réfractarité, ces deux propriétés ayant justifié son usage précoce dans les céramiques. Il possède en outre des particularités qui ont permis de le valoriser dans d'autres applications :

- une forte inertie chimique qui permet d'éviter sa décomposition, sa décoloration ou sa réaction avec d'autres composants ;
- une opacité naturelle liée à la forme lamellaire des cristaux, à la différence des carbonates qui nécessitent une concentration plus forte pour un effet égal en raison de la forme plus équidimensionnelle des particules ;
- une faible granularité des plaquettes élémentaires ( $< 2 \mu$ ) et leur relative homogénéité en taille et en forme, ce qui lui confère une importante surface spécifique ;
- une faible viscosité (grande "fluidité") quand il est mis en pulpe avec une forte concentration.

Nous détaillerons ci-après quelques tests de caractérisation essentiellement en usage dans le secteur de la papeterie.

### 4.1. COULEUR SUR CRU

Le test de blancheur ISO ("brightness") consiste à déterminer, à l'aide d'un photomètre à réflectance photoélectrique (de type ELREPHO ou Photovolt), le pouvoir réfléchissant d'un échantillon par rapport à un témoin de pouvoir réfléchissant connu pour une lumière de longueur d'onde connue (457 nm) ; cette mesure s'exprime donc en pour-cent. La blancheur ISO utilisée en Europe est inférieure d'un ou deux points à la blancheur G.E. en usage aux Etats- Unis.

L'indice de jaune ("yellowness") s'exprime comme étant la différence entre les valeurs de réflectance pour des longueurs d'onde de 570 nm et 457 nm.

Actuellement, les réflectomètres Elrepho ne sont plus fabriqués. Ils ont tendance à être remplacés par des spectrophotomètres, beaucoup plus précis, mais aussi plus lourds (appareils utilisés notamment par les fabricants de papier).

### 4.2. APTITUDE AU BLANCHIMENT

Par adjonction au kaolin en suspension aqueuse d'un agent réducteur (hydrosulfite de sodium) à pH faible (3-4), on rend soluble les composés ferrifères colorés, éliminés ensuite par filtration. La blancheur et l'indice de jaune sont nettement améliorés par ce procédé qui est efficace lorsque le fer est exprimé sous forme de particules (fer ferrique).

Par contre, ce traitement est inadapté dans le cas où le fer est inclus dans le réseau cristallin de la kaolinite.

#### 4.3. GRANULARITE - SURFACE SPECIFIQUE

La granularité du kaolin (fraction < 40  $\mu\text{m}$ ) peut être mesurée grâce à la loi de Stokes qui définit la vitesse de sédimentation de particules dans un liquide visqueux. Les particules de kaolin n'étant pas sphériques, on mesure un "diamètre sphérique équivalent".

On peut mesurer la granularité par décantation (pipette d'Andreasen) ou grâce à un "Sedigraph".

#### 4.4. VISCOSITE

La viscosité des suspensions de kaolin revêt une grande importance, notamment pour le couchage du papier : les fabricants désirent en effet mettre le kaolin en suspension par l'adjonction d'une quantité minimale d'eau (cette quantité d'eau influe sur la phase de séchage du papier, étape onéreuse du processus de fabrication).

La viscosité est liée à la concentration en solides de la pulpe de kaolin : la caractéristique généralement étudiée est la **viscosité-concentration** que l'on peut définir comme la teneur en solide d'une pulpe dont la viscosité, mesurée grâce à un viscosimètre Brookfield (RVF 100 ou RVT) tournant à 100 tours par minute est de 500 centi-Poises (5 P). Elle est mesurée après adjonction de la quantité optimale de défloculant.

Pour l'industrie papetière, les caractéristiques rhéologiques d'un kaolin de charge ont beaucoup moins d'importance que pour le kaolin destiné au couchage.

#### 4.5. ABRASIVITE

L'abrasivité d'une suspension de kaolin est évaluée par les essais d'abrasion Valley ou Einlehner. Une forte abrasivité est pénalisante car elle augmente l'usure du matériel de fabrication.

L'**essai Valley** est actuellement un peu tombé en désuétude ; il consiste à mettre en suspension 75 g de kaolin dans 2 litres d'eau ; une pompe met la pulpe en circulation, la pulpe passe entre une toile métallique et un frotteur en téflon effectuant 6000 allers-retours à raison de 85 par minute. L'usure est évaluée par la perte en poids de la toile métallique. On considère que l'abrasion Valley doit être inférieur à 85 mg pour le kaolin de charge et à 15 mg pour le kaolin de couchage.

L'**essai Einlehner** utilise l'abrasivimètre EINLEHNER-AT-1000 : 100 g de kaolin sec et pulvérisé sont mélangés durant 30 mn à 500 cc d'eau et 0,2 g de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ; une bague d'abrasion fait frotter les particules de la suspension sur une toile de bronze ; l'indice

d'abrasivité est défini comme la perte de poids (en mg) de la toile après 2 heures de frottement. L'abrasivité EINLEHNER est environ de 5 pour un kaolin de couchage et de 20 pour un kaolin de charge.

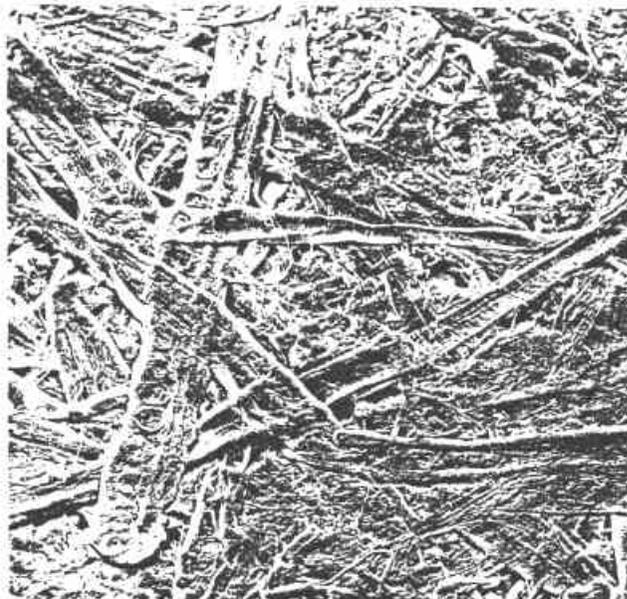
#### **4.6. CAPACITE DE RETENTION**

La capacité de rétention du kaolin au sein des fibres de cellulose est mesurée de la façon suivante : une suspension de kaolin et de fibres est placée dans un cylindre reposant sur une toile ; le vide étant fait sous la toile, il reste une rondelle de pâte dont on mesure après séchage la teneur en kaolin ; par différence avec la quantité initiale de kaolin, on mesure la perte en kaolin évacué avec l'eau.



PAPIER NON CHARGE  
NON COUCHE  
BLANCHEUR VOISINE  
de 60 %  
FAIBLE OPACITE

PAPIER JOURNAL  
ANNUAIRE



PAPIER CHARGE  
NON COUCHE  
La surface bien que non  
couchée sera lustrée

MAGAZINES de MASSE  
LIVRES



PAPIER CHARGE  
COUCHE  
(L.W.C.)  
Couchage avec kaolin  
associé à du G.C.C.

MAGAZINES HAUTS de GAMME  
PAPIERS BRILLANTS PUBLICITAIRES

de Industrials Minerals sept 1997

**Fig. 2 - Différents types de papier vus au microscope.**

## 5. Utilisations et spécifications industrielles

### 5.1. FABRICATION DU PAPIER

Le kaolin intervient comme charge ou, au stade de finition, comme pigment ou additif pour le couchage.

Le rôle du kaolin utilisé en charge est de combler les interstices entre les fibres de cellulose, ce qui permet d'améliorer la blancheur, l'imperméabilité, l'opacité, la réceptivité à l'encre, la stabilité dimensionnelle et l'aspect de surface du papier, tout en économisant les fibres de cellulose au coût élevé.

Lorsque la feuille de papier est constituée, ses propriétés de surface peuvent être encore améliorées par un dépôt de couchage. Une résine à base de kaolin et d'oxyde de titane est étendue sur le papier pour masquer les irrégularités de surface de la feuille, donner plus de blancheur, de brillance et augmenter l'aptitude à l'impression (fig. 2).

Sa consommation varie suivant les types de papier et les techniques de fabrication spécifiques à certaines zones géographiques, il est commercialisé sous forme sèche en granulés ou, pour le couchage sous forme de slurry. L'usage de ces pulpes favorise la dispersion du kaolin dans les "sauces" de couchage, rend leur homogénéisation plus facile et donc permet une plus grande régularité de leur qualité.

Les papiers à usage graphique consommateurs de kaolin représentent, en 1995, 45,8 % de la production totale de papier en France selon les statistiques de la Copacel :

- papier journal	9 %
- papier d'impression et écriture	36,8 %
- papier d'emballage	4,6 %
- papier pour ondulé	31,9 %
- papier à usage domestique et sanitaire	6 %
- cartons	8,5 %

La part que le kaolin occupe dans les matières premières minérales peut cependant varier entre 38 et 44 % pour les papiers d'imprimerie et d'écriture à seulement 10 % pour le papier journal.

Rappelons qu'en 1995, la production mondiale de papiers et cartons s'élevait à 277 791 kt, dont 69 726 kt pour l'Europe des quinze et 9 500 pour la France (source Copacel).

Quatre grands groupes de papiers peuvent être distingués ; ils requièrent des qualités, des présentations et des quantités de kaolin différentes et correspondent en général à des marchés spécifiques.

- **Papiers non couchés fabriqués à partir de pâtes mécaniques**  
("non couchés avec bois")

Ces pâtes contiennent encore une certaine proportion de lignine, facteur de moindre résistance et de jaunissement. Il s'agit des papiers les moins onéreux. Le kaolin intervient comme charge.

- **Papiers non couchés fabriqués à partir de pâtes chimiques**  
("non couchés sans bois")

Ces pâtes ont subi un traitement chimique destiné à éliminer la lignine (elles doivent contenir moins de 10 % de fibres mécaniques).

Ces papiers sont ceux utilisés dans les bureaux (photocopies, informatique...). La consommation est en constante augmentation. Ils contiennent de 10 à 20 % de charges minérales (kaolins, carbonates, talc, oxyde de titane).

- **Papiers couchés fabriqués à partir de pâtes mécaniques**  
("couchés avec bois")

La production de ce type de papier couché est en constante augmentation. Elle inclut la fabrication de la qualité LWC (Light Weight Coated) d'un poids inférieur à 72 g/m<sup>2</sup> et qui contient environ 35 % de charge minérale. Ce type de papier est de plus en plus fabriqué et utilisé essentiellement dans la publicité (catalogues, publicité postale...).

Les papiers de type MWC (Medium Weight Coated) sont concurrencés par les "couchés sans bois" ; au contraire de celui des LWC, leur marché n'est pas en expansion.

Les L.W.C. utilisent le kaolin en tant que charge mais surtout en tant que pigment de couchage en raison de sa brillance ("high gloss"), qui peut encore être améliorée après calcination. L'importance de la brillance est de plus accentuée par l'usage croissant de l'impression en couleur

- **Papiers couchés fabriqués à partir de pâtes chimiques**  
("couchés sans bois")

Ces types de papiers sont eux aussi de plus en plus demandés (en Europe, accroissement de 4 % à 6 % par an). Ils contiennent (charge + couchage) environ 30 % de matières minérales. Les pigments de couchage sont essentiellement, le kaolin, l'oxyde de titane et les carbonates. Ces papiers sont utilisés dans les revues de luxe. Leur qualité peut être améliorée par un double couchage, si ce procédé se généralise, il entraînera un accroissement de la consommation des pigments.

## Spécifications

Le kaolin papetier doit répondre à des spécifications sévères concernant essentiellement la couleur, la granularité, la viscosité des pulpes concentrées, l'abrasivité et la capacité de rétention au sein des fibres de cellulose.

La viscosité des pulpes est d'autant plus importante que les "sauces" doivent s'adapter à des vitesses de défilement du papier sous la lame pouvant atteindre 100 km/h (Industrial Minerals and Rocks).

Les tableaux 5 et 6 regroupent les principales caractéristiques chimiques et physiques de quelques produits commercialisés à des fins de charge ou de couchage.

Nom producteur	SPS ECCI (UK)	Alphacote ECCI (USA)	Karvolin Kaolins d'Arvor (France)	Amazon 88 Caulim da Amazonia (Brésil)
-2 micron %	78	89	86	97
blancheur (ISO)	85,6/4,4	88,4/4,5	85	85,4/6,0
Viscosité	69,7	74,5	72	74,4
SiO <sub>2</sub>	47,2	46	45,9	46
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	37,6	39	37,4	37
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,68	0,58	1,0	1,8
TiO <sub>2</sub>	0,04	0,53	0,35	0,98
CaO	0,08	0,04	0,02	0,02
MgO	0,2	0,04	0,2	0,07
K <sub>2</sub> O	1,39	0,07	0,13	0,0
Na <sub>2</sub> O	0,08	0,18	0,2	0,08
Perte au feu	12,7	13,9	13,1	14,3
Kaolinite	93	100	99	99
Mica	7	-	Tr	-
Quartz	Tr	-	-	-
Feldspath	-	-	-	-
Anatase	-	Tr	1	1
Type de gîte	primaire	sédimentaire	sédimentaire	sédimentaire

**Tabl. 5 - Caractéristiques de kaolins commercialisés comme produits de couchage en papeterie (modifié d'après Industrial Minerals).**

Dans certains cas, pour du kaolin destiné à du pré-couchage, des granularités plus fortes peuvent être tolérées.

La surface spécifique (mesurée grâce au QUANTOCHROME, méthode BET, par exemple) est déterminante pour le kaolin de couchage, elle varie de 10 à 21 m<sup>2</sup>/g.

## Produits nouveaux

La sophistication des produits va croissante dans le domaine du couchage, les "pigments structurés chimiquement" (C.S.P.) sont obtenus par la réaction entre un kaolin et un poly-électrolyte cationique, ils améliorent les qualités d'impression.

Nom producteur	Grade C ECCI (UK)	Arvors 20B Kaolins d'Arvor (France)	Acme ECCI (USA)	Pittong ECCI (Australie)	Alphafill ECCI (Brésil)
+ 10 microns %	5,4	5	6	3	41
-2 microns %	50	58	74	78	30
blancheur (ISO)	81,0/5,5	82,5	82,4/7,0	80,4/9,5	81,6/8,2
SiO <sub>2</sub>	47,2	47,4	46	47	46
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	37,4	36,6	38	38	39
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,96	0,8	0,89	0,62	0,52
TiO <sub>2</sub>	0,14	0,1	1,5	0,63	0,04
CaO	0,11	0,02	0,08	0,03	0,05
MgO	0,18	0,2	0,10	0,1	0,06
K <sub>2</sub> O	1,41	1,2	0,42	0,16	0,94
Na <sub>2</sub> O	0,07	0,1	0,20	0,11	0,17
Perte au feu	12,5	12,5	13,4	13,7	13,5
Kaolinite	90	90	95	97	95
Mica	9	8	3	-	5
Quartz	1	2	-	1	TR
Feldspath	-	1	-	-	-
Anatase	-	-	-	1	-
Type de gîte	primaire	primaire	sédimentaire	primaire	primaire

Tabl. 6 - Caractéristiques de kaolins commercialisés comme produits de charge en papeterie.

Le tableau 7 présente les normes de granularité généralement admises.

	Kaolin de couchage		Kaolin de charge	
	Norme généralement admise (%)	Minimum-Maximum (%)	Norme généralement admise (%)	Minimum-Maximum (%)
> 43 µm	< 0,02		<0,05	
> 20 µm				1
> 10 µm	<0,5		12-25	9-12
< 2 µm	75-80	65-95	25-50	45-51

Tabl. 7 - Granularités généralement admises pour le kaolin dans l'industrie papetière.

## 5.2. LES CERAMIQUES ET REFRACTAIRES

Le kaolin est utilisé essentiellement en céramique fine, pour sa blancheur et sa réfractarité. Il entre ainsi, dans une proportion variant de 10 à 60 %, dans les pâtes cuisant blanc : faïences fines, vitrés, grès sanitaires et surtout porcelaine (jusqu'à 60 % de kaolin).

Les impuretés colorantes doivent donc être sévèrement contrôlées : Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 0,5 à 0,8 % maximum, TiO<sub>2</sub> : 0,1 à 0,5 % maximum.

A la différence de l'usage en papeterie la viscosité peut être élevée pour faciliter la résistance en cru. Pour plus de détails, il est possible de se reporter au mémento "argiles nobles pour produits céramiques".

Le tableau 8 donne les caractéristiques physiques et chimiques de quelques produits standards, d'après Industrial Minerals and Rocks.

Nom producteur	Standard porcelaine ECCI (UK)	Kaolinor 1C Kaolins d'Arvor (France)	Zettlitz 1A KSNP (Tchéquie)	Pleyber GX ECCI (France)	Burella 201 ECESA (Espagne)	Cyprucast Cyprus IM (US)
+10 microns %	2,2	5	7,3	6	-	17,4
- 2 micron %	70	59	67,5	61	39	57,6
Mode de rupture						
Kgf/cm <sup>2</sup>	14,0	9	14,3	10	11,4	4,0
Concentration %	63		59,8	65	63,2	70 app,
R	0,35		0,46	2,0	1,95	1,4
F	91		89,4	91	91,3	90,4
1180°C Absorption	15		16,7	19	19,6	16,1
Contraction	9		7,9	8	5,5	6,3
F	88		91,4	89	92,2	87,8
1280°C Absorption	6		12,5	10	15,0	13,7
Contraction	14		10,9	12	7,5	10,4
SiO <sub>2</sub>	47,9	47,4	47	48	51	46
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	37,2	36,6	37	36,8	36	38
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,68	0,8	0,88	0,72	0,72	0,47
TiO <sub>2</sub>	0,03	0,1	0,17	0,36	0,02	1,6
CaO	0,07	0,02	0,48	0,18	0,05	0,05
MgO	0,27	0,2	0,43	0,06	0,23	0,09
K <sub>2</sub> O	1,59	1,2	0,94	1,76	1,3	0,16
Na <sub>2</sub> O	0,08	0,1	0,09	0,06	0,03	0,10
Perte au feu	12,3	12,5	13,3	12,1	11,3	13,6
Kaolinite	88		89	89	74	95-97
Mica	9	-	10	9	20	2-3
Quartz	1		1	2	6	1
Feldspath	1		-	-	-	-
Anatase	-	Tr	-	-	-	1
Type de gîte	primaire	primaire	primaire	primaire	primaire	sédimentaire

Tabl. 8 - Caractéristiques de kaolins commercialisés pour l'industrie céramique.

### 5.3. LES PEINTURES

Le kaolin, est utilisé dans les peintures en raison de son inertie chimique, de son opacité et de son pouvoir suspensif qui permet d'améliorer les propriétés d'écoulement et de thixotropie.

Il intervient souvent comme adjuvant des pigments titanés (TiO<sub>2</sub>) en raison de son coût plus faible, sous forme crue ou calcinée.

Suivant la granulométrie du kaolin, on obtiendra des peintures mates (kaolin grossier) ou brillantes (kaolin fin) notamment dans les peintures à l'eau. La vente de ces dernières en volume et non plus au poids aux Etats-Unis avantagera les pigments les plus légers, dont le kaolin, au détriment des charges barytées, voire titanées.

Le kaolin calciné possède une meilleure blancheur, ainsi qu'une plus grande dureté, qui améliore la durabilité de la peinture. Il entre, avec d'autres kaolins traités pour être rendus organophiles et hydrophobes, dans la composition de peintures pour extérieur ainsi que de couches d'impression pour métaux.

### Spécifications

Les spécifications et les méthodes d'essais sont régies en France par la norme NF T31.101 (juin 1987), disponible auprès de l'AFNOR, cette norme ne s'applique ni aux kaolins calcinés ni aux qualités spéciales contenant des produits d'addition ou ayant subi un traitement physico-chimique.

Une autre norme est en projet depuis 1994 (NT31-101 du 31 mai 1994).

## 5.4. LES PLASTIQUES

Le kaolin est très utilisé comme charge dans les plastiques pour sa couleur ; il permet de plus d'obtenir des surfaces plus lisses, une meilleure stabilité dimensionnelle et une meilleure résistance aux acides.

Les fabricants de PVC utilisent le kaolin comme agent de renforcement car il augmente la durabilité de ce plastique. Le kaolin calciné est utilisé pour les isolations en PVC des câbles électriques car il en accroît les propriétés diélectriques.

Le kaolin a aussi permis de résoudre les problèmes de coulabilité posés par la fabrication de pièces complexes en polyester renforcé qui gênaient la production à cadence élevée d'éléments comme des pièces d'automobiles ou des coques de bateaux.

L'industrie des plastiques est un marché important pour le développement de la production de kaolin, notamment à cause de l'utilisation croissante des kaolins à surface modifiée.

## 5.5. LES CAOUTCHOUCS

Le kaolin qui entre dans la fabrication des caoutchoucs améliore la résistance mécanique, la résistance à l'abrasion et la rigidité des produits.

Deux termes sont utilisés couramment dans cette industrie pour désigner le kaolin : le kaolin dur et le kaolin doux.

Le kaolin dur est un kaolin très finement divisé (75 à 80 % < 2 µm) qui tend à augmenter la résistance à la traction, au déchirement et à l'abrasion. Il est principalement utilisé pour la fabrication des chaussures et des gaines de câbles. Il n'est pas aussi efficace que le noir de fumée, qui réagit avec le caoutchouc ; son utilisation reste donc limitée aux produits colorés, où il est accompagné d'un pigment.

Le kaolin doux est nettement plus grossier (20 à 45 % < 2 µm) ; il est utilisé principalement comme charge inactive, diminuant les coûts des produits sans changer de façon significative leurs propriétés mécaniques. Il leur confère toutefois une meilleure résistance à l'abrasion (revêtements de sols), il diminue l'élasticité du caoutchouc mais accroît sa stabilité dimensionnelle et améliore l'état de surface des extrudés.

### Spécifications

Depuis octobre 1986, la norme NF T45 008 précise les caractéristiques de la matière première.

## 5.6. CIMENTS BLANCS

Dans la production de ciment blanc, la présence d'oxyde de fer est très gênante ; l'utilisation de kaolin comme source d'alumine permet de l'éviter. Il est alors nécessaire de combler le déficit en silice par l'adjonction de sable siliceux.

## 5.7. FIBRES DE VERRE

L'introduction d'alumine dans les fibres de verre grâce à l'adjonction de kaolin à la place de feldspaths ou de feldspathoïdes permet d'obtenir des verres à faibles teneurs en alcalins, présentant d'excellentes caractéristiques mécaniques. La fusion est obtenue grâce à la présence de calcium, de magnésium et de bore.

Le kaolin requis pour cet usage doit présenter un faible taux d'humidité, on privilégiera donc les kaolins traités par voie sèche ("air floated").

## 5.8. AUTRES UTILISATIONS DU KAOLIN

Le kaolin entre dans la composition de nombreux autres produits, mais en faible tonnage : additifs de nourriture, encres, adhésifs, pharmacie, agents catalyseurs, agents blanchissants, absorbants, produits phytosanitaires, textiles, revêtements de sol, fonderie.

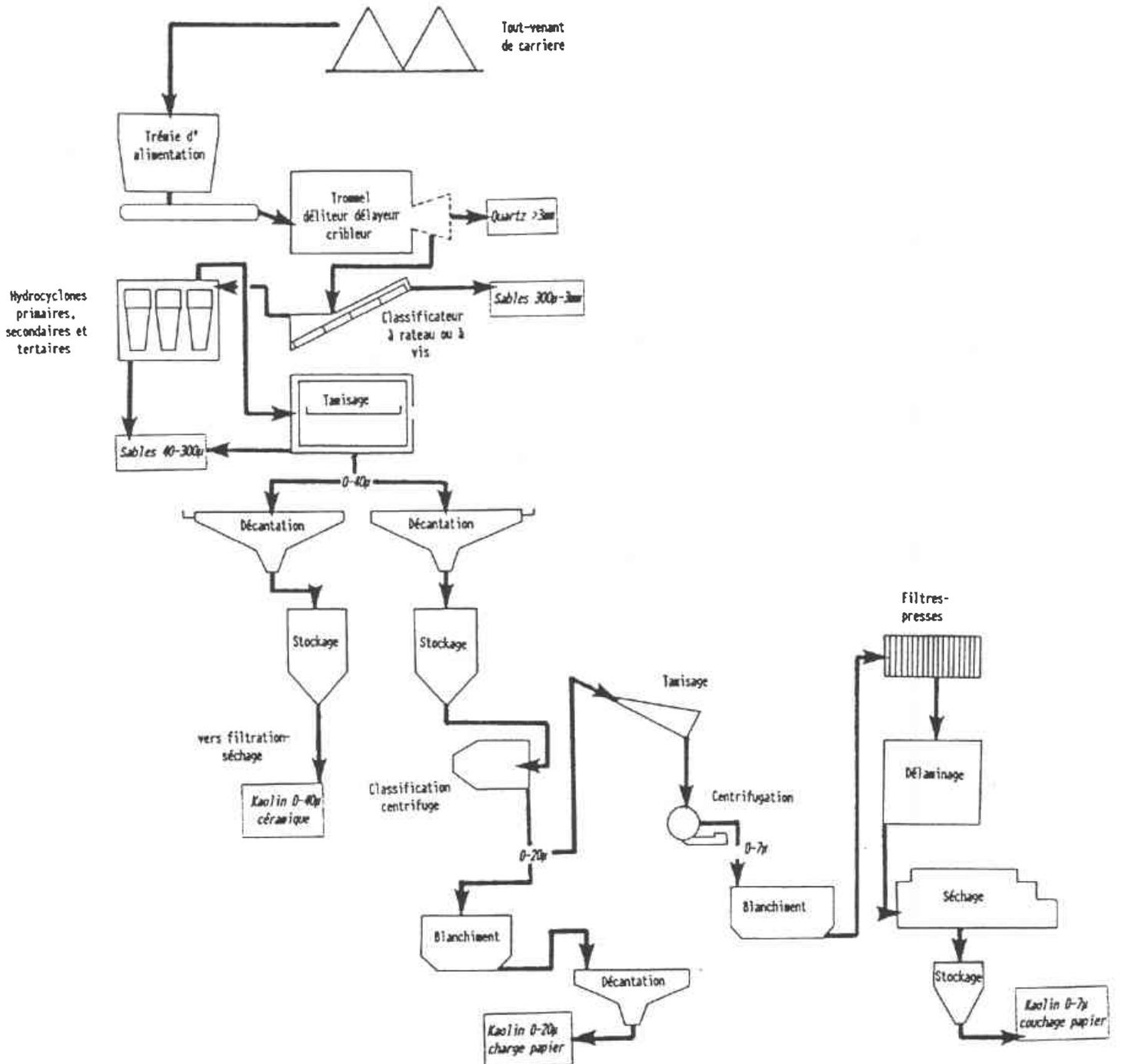


Fig. 3 - Exemple de schéma d'une installation de traitement de kaolin par voie humide (Kaolins d'Arvor).

## 6. Extraction et mode de traitement du kaolin

L'extraction du kaolin est réalisée à ciel ouvert, essentiellement de deux manières en fonction de l'homogénéité du gisement :

- à l'aide d'engins mécanisés (pelles, scrapers) ;
- à l'aide d'une lance, ou "monitor" qui envoie un jet d'eau très puissant sur le front de taille, désintégrant le tout-venant qui est pompé vers l'installation de traitement.

Le tout-venant peut être ensuite épuré selon trois processus différents :

- par voie sèche avec classification dans l'air (désintégrateur, sélecteur pneumatique), mais ce procédé ne permet que d'obtenir des kaolins à faible valeur ajoutée, surtout à destination du marché de la céramique ou des fibres de verre ;
- par voie humide avec classification dans l'eau (délayage - délitage et sélection par centrifugation) ;
- par voie mixte (voie humide jusqu'à 40 microns, puis voie sèche en dessous pour obtenir des kaolins plus fins).

Les procédés par voie humide sont les plus fréquemment utilisés, ils permettent d'obtenir les produits les plus sophistiqués.

Un schéma de classification par voie humide est donné en exemple dans la figure 3. Il s'agit du schéma de fonctionnement de l'usine de traitement de la Société des Kaolins d'Arvor.

### 6.1. DELAYAGE, CLASSIFICATION ET SECHAGE

Pour extraire les 25 à 30 % de kaolin contenu dans le tout-venant, celui-ci est introduit dans un trommel horizontal avec de l'eau de façon à mettre en suspension les différents grains dont la roche est formée. Des appareils de séparation (grille perforée, classificateur à râteau, hydrocyclones, panneaux tamiseurs) vont éliminer successivement les grains de quartz et de mica de plus en plus fins pour arriver à une suspension diluée contenant le kaolin épuré.

Pour récupérer ces particules de kaolin, dont les plus grosses ont un diamètre de 20 microns, "le lait kaolinique" est envoyé dans des bassins d'une capacité de 2 500 m<sup>3</sup> dans lesquels la concentration va atteindre 300 à 400 kg/m<sup>3</sup>.

L'élimination de l'eau est poursuivie à l'aide de filtres-presses produisant des "galettes" de kaolin contenant 30 % d'humidité. Puis, sous la forme de bâtonnets, le kaolin est séché jusqu'à la valeur de 10 % d'humidité environ dans des fours-tunnels.

La société anglaise ECC a mis au point des "tubes-presses" qui permettent d'obtenir des produits à 18 % d'humidité qui ne subissent pas de séchage complémentaire.

Les différentes qualités sont alors stockées dans des magasins d'où elles seront reprises automatiquement pour être expédiées en vrac ou en sacs.

## 6.2. TRAITEMENTS SPECIAUX

Une fraction du kaolin subit une séparation dans des centrifugeuses horizontales après addition d'un dispersant (silicate de sodium ou hexamétaphosphate de sodium en milieu neutre) qui permettent d'extraire le **kaolin de couchage** constitué de particules d'une taille inférieure à 7 microns. Celui-ci est ensuite épaissi dans des centrifugeuses à haute accélération avant d'être acheminé vers l'atelier de filtration-séchage.

La blancheur des kaolins destinés à la papeterie est améliorée par un traitement chimique ayant pour but de supprimer les oxydes de fer qui ont une teinte jaune (addition d'un agent réducteur, l'hydrosulfite de sodium, à pH faible).

Ils sont également extrudés et délaminés, ce qui permet d'en améliorer les propriétés physiques en modifiant la structure des cristaux.

Pour d'autres utilisations particulières, des traitements spéciaux sont mis en oeuvre :

- **pulvérisation** et séchage du kaolin à moins de 1 % d'humidité ;
- **filtration magnétique** et/ou **ultraflottation** permettant d'éliminer les fines particules de fer, de titane, de micas, etc. ;
- **calcination** : au-dessus de 1050°C, le kaolin est transformé en mullite ( $A_{16}Si_2O_{13}$ ), et cristobalite (silice de haute température). Le produit formé est plus blanc, plus brillant, plus opaque, mais plus visqueux et abrasif que le kaolin ; il présente des avantages en terme de prix par rapport aux pigments titanés ( $TiO_2$ ).

## 7. Produits de substitution au kaolin évolution récente et perspectives du marché

### 7.1. FABRICATION DU PAPIER

Les deux principaux produits minéraux, autres que le kaolin, utilisés en papeterie sont le talc et le carbonate de calcium.

**Le talc** peut être utilisé dans l'industrie du papier grâce à la mise au point de techniques de traitement très modernes (flottation, micronisation) qui permettent d'obtenir des produits de haute qualité à pouvoir réflecteur élevé (brightness test ISO de 90 % et même 97 %), dépourvu d'impuretés colorantes ou abrasives et à bonnes propriétés de rétention. Le talc est essentiellement utilisé comme charge mais aussi parfois en couchage (produits micronisés donnant au papier un fini brillant en particulier pour le papier destiné à l'héliogravure).

Le talc est également utilisé dans l'industrie du papier pour contrôler, en cours de fabrication, le taux de résine (pitch control) contenu dans la pâte à papier. En effet, cette résine, qui a tendance à former des globules très gênants pour la fabrication, est absorbée et dispersée par le talc.

**Le carbonate de calcium** augmente la blancheur (parmi la plus élevée des produits couramment utilisés en papeterie : 90 à 96 %), l'opacité et la réceptivité à l'encre. Ce produit est employé sous différentes formes, grossières, fines ou précipitées.

Le carbonate de calcium **grossier** est peu cher et de qualité médiocre, il est utilisé en particulier comme charge dans le papier à cigarettes car il lui permet de bien se consumer.

Le produit **micronisé** donne au papier de meilleures propriétés de fini, d'opacité et de réceptivité à l'encre, mais cette finesse diminue les propriétés de rétention (une plage étroite de granularité est nécessaire).

Par comparaison, avec les suspensions de kaolin, le carbonate de calcium permet d'obtenir, à qualités rhéologiques égales, des concentrations en solides plus élevées, ce qui, en diminuant la phase aqueuse, réduit les opérations de séchage et donc les coûts de fabrication du papier.

Le carbonate de calcium est surtout utilisé en couchage pour la fabrication de papier destiné aux impressions "offset".

Le produit **précipité** est également utilisé dans l'industrie du papier, en particulier en couchage. Il est moins abrasif que le produit naturel et cause par conséquent moins de dommages au matériel de fabrication.

**Les autres produits minéraux** couvrent globalement moins de 4 % de la consommation européenne de produits minéraux en papeterie ; ce sont les sulfates de baryum (barytine), la dolomite, les sulfates de calcium (le gypse, l'anhydrite), la diatomite, les pigments à base d'oxyde de titane (anatase, rutile, mélange rutile-anhydrite), les pigments à base de zinc (oxyde et sulfure de zinc, lithopone), l'amiante, etc.

**Les sulfates de calcium** sont de moins en moins utilisés dans l'industrie du papier malgré un certain attrait lié à leur couleur et leur brillance, ceci à cause de leur solubilité naturelle entraînant des pertes de produit et des difficultés de fabrication.

**La diatomite** est utilisée comme charge ainsi que pour le contrôle du taux de résine (cf. talc).

### 7.1.1. Evolution récente

La figure 4 montre l'évolution de la part respective des quatre principaux produits utilisés comme charge, sur le marché ouest-européen en croissance en rythme annuel de près de 3,9 % sur 23 ans (1972-1995), d'après les analystes de Kline Europe.

Le carbonate de calcium micronisé, qui ne représentait que 3 % des charges utilisées en 1972, a vu sa part passer à 44 % en 1995, alors que la part du carbonate de calcium précipité est passée dans le même temps de 4 à 5 %. La part du talc demeurant constante, c'est donc au détriment du kaolin que s'est fait cet accroissement de la part de marché. L'essentiel de cette évolution concerne la papeterie.

Elle est imputable à plusieurs facteurs :

- **technologiques** d'abord, l'accroissement des procédés de fabrication des papiers sans bois, en milieu neutre, au détriment de milieux acides, a permis d'augmenter globalement les produits de charge en rendant opérant le carbonate de calcium. Ainsi, le taux de  $\text{CaCO}_3$ , admissible pour le collage en milieu acide, est de 35 % en charge et 20 % pour le couchage, alors qu'en milieu neutre il est de 100 % en charge et 40 % pour le couchage ;
- **commerciaux** ensuite, en raison de l'accroissement de la demande en papiers couchés due en partie aux publicités couleur.

**L'avantage prix** demeure enfin favorable au carbonate de calcium : 300 -500 F/t pour charge et 600 à 1000 F/t pour le couchage.

### 7.1.2. Perspectives

La tendance à la substitution risque de se poursuivre au niveau mondial ; ainsi, la répartition kaolin, carbonate en Europe est maintenant de 40 % contre 60 %, alors qu'elle n'est encore que de 80 % contre 40 % aux Etats-Unis où, historiquement le kaolin était moins cher.

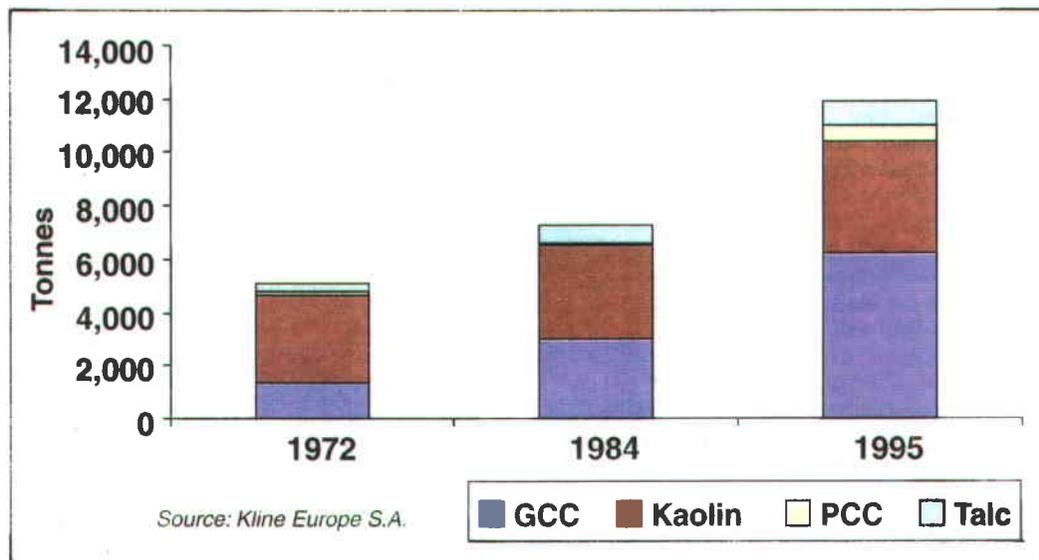


Fig. 4a - Evolution de la consommation des charges minérales en Europe occidentale entre 1972 et 1995.

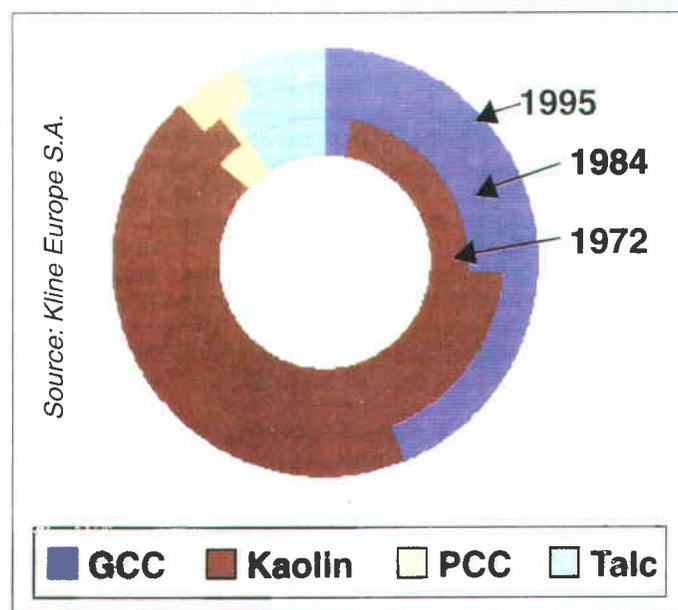


Fig. 4b - Evolution de la consommation des charges minérales en Europe pour la fabrication des papiers.

La demande de kaolin va donc croître à un rythme moins soutenu que les industries consommatrices et les autres charges minérales, le marché étant globalement arrivé à maturité en Europe, ce qui n'est pas le cas en Asie, voire aux Etats-Unis.

Les produits de spécialité à forte valeur ajoutée vont cependant servir de relais, en capitalisant sur les points forts du kaolin comparativement au carbonate de calcium : meilleures brillance et inertie chimique. Ainsi, par exemple, un produit de couchage composé à 100 % de kaolin sera avantageusement remplacé par 70 % de carbonate et 30 % de kaolin à haute brillance ("high gloss"), kaolin calciné notamment.

De la même manière, les pulpes de couchage "hybrides" où le kaolin haute brillance remplace une partie de l'oxyde de titane permet de réduire les coûts jusqu'à 10 % à qualités optiques constantes.

Notons enfin que le recyclage pourrait également prendre de l'importance, d'abord par la récupération du kaolin dans les effluents de l'industrie papetière, mais aussi par la mise au point de procédés de traitement du papier de récupération.

## 7.2. AUTRES UTILISATIONS

Les produits minéraux autres que le kaolin utilisés dans les caoutchoucs, plastiques et peintures sont décrits ci-après, ainsi que les principales tendances du marché des charges minérales (voir fig. 5 à 7).

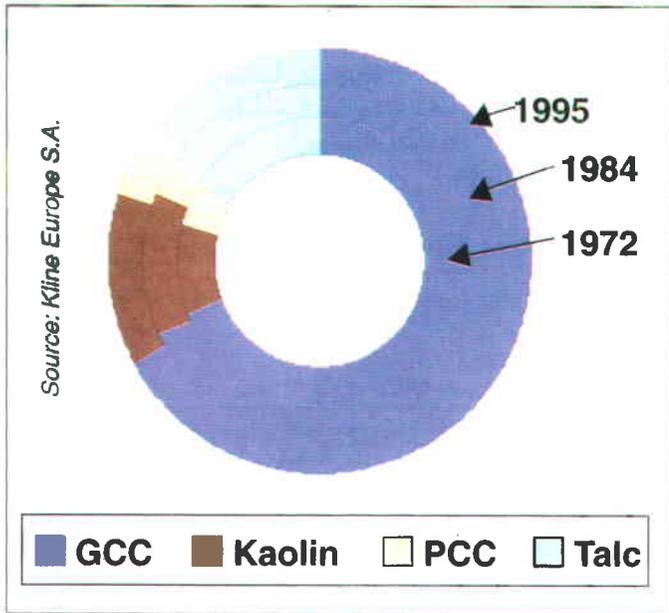
**Caoutchouc** : craie, talc, silice hydratée précipitée, dont l'utilisation est régie par des normes françaises.

La consommation des charges minérales dans ce secteur durant la période de référence a baissé de 0,8 % en rythme annuel, seul **le kaolin a progressé** au détriment des autres charges. Sa part est ainsi passée de 33 % en 1972 à 44 % des charges comme l'illustre la figure 7.

**Plastiques** : carbonates, talc, amiante, sulfate de baryum, feldspath, mica, syénite néphélinique, perlite, silice, wollastonite, vermiculite.

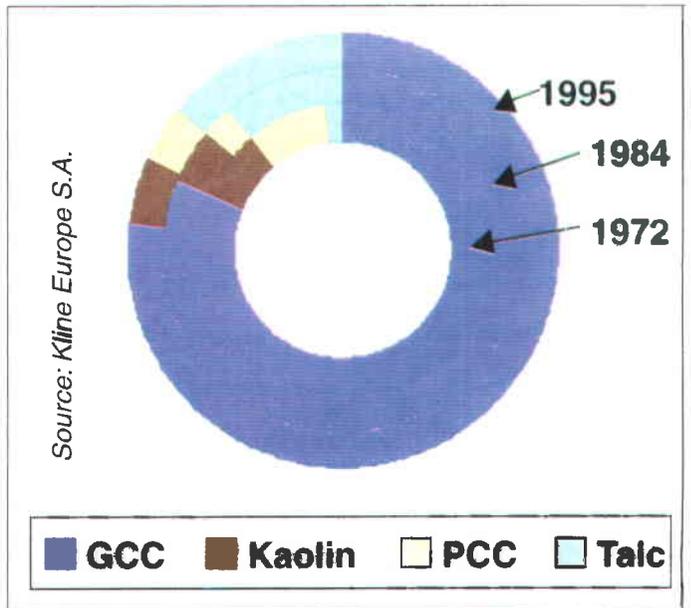
La consommation de charges minérales dans ce secteur a globalement crû de 5,3% sur la période de référence (1972- 1995), **la part du kaolin est restée sensiblement stable (+ 3,8% en rythme annuel)**, le talc ayant fortement progressé au détriment du carbonate de calcium micronisé (+ 14 % en rythme annuel).

**Peintures** : sulfates de baryum naturels et artificiels, craie, calcite, carbonate de calcium précipité, talc, dolomie, mica, dont l'utilisation est également régie par des normes françaises.

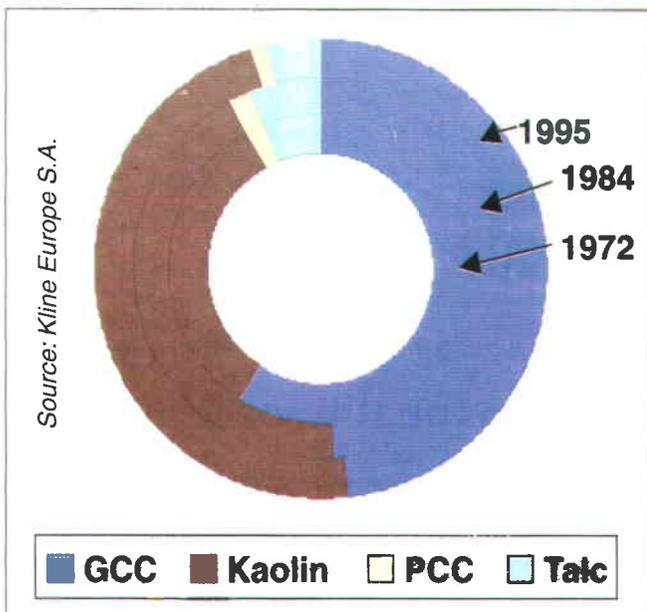


**Fig. 5 - Evolution de la consommation des charges minérales dans la peinture en Europe occidentale.**

**Fig. 6 - Evolution de la consommation des charges minérales dans les plastiques en Europe occidentale.**



**Fig. 7 - Evolution de la consommation des charges minérales dans le caoutchouc en Europe occidentale.**



La consommation ouest-européenne de peinture représente le tiers de la consommation mondiale avec 5 Mt en 1995 ; le taux de croissance annuelle sur la période 1972-1995 n'a été que de 1,5%. La part du kaolin s'est néanmoins maintenue. Le manque d'harmonisation des normes au niveau européen, ainsi que le manque de concentration de cette industrie risquent cependant d'être préjudiciable à l'accroissement du marché.

## **Bibliographie sommaire**

- Anonyme (1987) - Kaolin: paper underpins current demand. *Industrial Minerals*, juillet 1987, p. 62-87.
- Anonyme - Méthodes d'essais English China Clay (ECC).
- Anonyme - Méthodes d'essais - Société des kaolins d'ARVOR.
- Benbow J. (1987) - European Paper: coated graphics provide market gloss-*Industrial Minerals*, December 1987.
- Berton Y., Le Berre P. (1983) - Guide de prospection des matériaux de carrière - Editions BRGM - Manuels et Méthodes, n° 5.
- Bristow C.M. (1987) - World kaolins : Genesis, exploitation and application, *Industrial Minerals*, juillet 1987, pp. 45-59.
- Cameron D., Russel Allison (1997) - *Industrial Minerals prices and data 1996*.
- Clark D.A. (1985) - The outlook for kaolin in paper, European kaolin conférence, Neunkirchen, Autriche, 21 mai 1985.
- Clark D.A. (1986) - Minerals in Paper - the Quiet révolution - Trans. 7th *Industrial Minerals Int. Congress*, Monte Carlo, 1986.
- Coope B. (1997) - European *Industrial Minerals*. *Revue Industrial Minerals*. Août 1997, pp. 55-58.
- Coope B.M. (1979) - Kaolin: a review of production and processing. *Revue Industrial Minerals*, n° 136, pp. 31-49.
- Decker Mark (de) (1997) - Fillers and extenders, European market trends. *Revue Industrial Minerals*, December 1997, pp. 29-35.
- Damiani L. et Trautmann F. (1968) - Les dépôts de kaolin français. XXIII International geological congress. Vol. 15 pp., 141-178.
- Gallagher Matt (1996) - Southern specialities, Georgia kaolin belt reviewed. *Revue Industrial Minerals*, February 1996, pp. 53-55.
- Harvey C.C. (1997) - Kaolinite and halloysite. Asean resources and trade. *Revue Industrial Minerals*, May 1997, pp. 55-59.

Hartman K.J. (1987) - Kaolin in paper : Quality of both products will improve with more sophisticated printing techniques, *Mining Engineering*, avril 1987, p. 247-250.

Keegan N. (1997) - Minerals in paper. *Revue Industrial Minerals*, September 1997, pp. 61-79.

Loughbrough (1993) - Kaolin producers move upmarket. *Revue Industrial Minerals*, October 1993, pp. 51-69.

Pasquet J.F. *Mémento substances utiles: le kaolin*. Rap. BRGM N 88 SGN 676 GEO.

Pickering S.N *et al.* (1994) - *Industrial Minerals and rocks*, 6th edition.

Pleeth A. (1997) - Forecasting for greenfield kaolin projects. *Revue Industrial Minerals*, January 1997, pp. 59-63.

**BRGM**  
**SERVICE MINIER NATIONAL**  
**Département de l'Exploration**  
BP 6009 - 45060 ORLEANS Cedex 2 - France - Tél. 02.38.64.34.34