
**ANALYSES STATISTIQUES DES DONNEES DE
SONDAGES DU BASSIN DES CHARENTES**

L'exploitation des gisements anciens par la méthode actuelle ne posait pas des problèmes importants. Dans les gisements actuels, on se trouve de plus en plus souvent face à des produits qui n'ont pas la qualité attendue. Dans ce chapitre on aura recours aux outils statistiques pour mettre en évidence les différences existant entre ces gisements.

On abordera d'abord la méthode d'échantillonnage. Une étude critique de cette méthode permet d'étudier la fiabilité des données. Ces dernières seront utilisées selon la méthode d'estimation proposée dans le chapitre V.

On présentera ensuite la variabilité des critères visuels ; la minéralogie des kaolins des Charentes sera également évoquée car, la connaissance minéralogique des argiles sera utilisée pour interpréter les résultats de l'analyse statistique.

Compte tenu de leur utilisation pour choisir les échantillons et pour la définition des zones plus ou moins homogènes, les critères macroscopiques (représentés par les codes lithologiques) sont pris en compte dans les études statistiques.

Une des sources du problème posé par la société AGS-Minéraux peut sans doute se trouver dans la variation de la composition minéralogique des argiles kaoliniques. Néanmoins l'analyse statistique est faite sur les données des mesures chimiques, car

- d'une part, les mesures de la composition minéralogique ne sont pas disponibles et donc le calcul modal de la composition minéralogique en utilisant ces mesures ne peut pas être précis,
 - d'autre part les décisions de la production (depuis la classifications des réserves d'argiles jusqu'aux contrôles sur les produits commerciaux) sont basées sur les mesures de la composition chimique.
- Les études réalisées dans ce chapitre ont pour but de comprendre :
- La variation des données dans les gisements et la comparaison entre les gisements
 - La relation entre les codes lithologiques et la composition chimique
 - La relation entre ces variables et leurs interprétations minéralogiques
 - La différence entre les gisements en exploitation et les anciens gisements

IV.1. Sondages et acquisition des données

Pour une étude géostatistique, la qualité des informations fournies est un critère fondamental tant en terme de teneur qu'en terme de positionnement géographique. Avant de commencer l'analyse statistique, on présente ici le processus d'acquisition des données.

IV.1.1. Prospection et maille de sondage

Les données de sondage sont les références servant à la prise de décision d'exploitation actuelle. AGS possède une base des données Access utilisée par le logiciel de CORALIS, dans laquelle sont archivés tous les paramètres lithologiques des carottes et les analyses chimiques des échantillons. C'est cette base de données qui sera utilisée dans cette étude.

L'opération de prospection chez AGS commence par une série de profils de sondage selon une direction perpendiculaire à l'extension du bassin (les profils sont quasiment E-W). Si les résultats sont intéressants dans quelques sondages, on engage une deuxième phase de sondages en réduisant la dimension de la maille. Le Tableau IV.1 donne les dimensions des mailles selon la phase de prospection

Tableau IV.1 Taille des mailles de sondage selon la phase de prospection

Type	Stratégique			Technique				
Phase	1	2	3	1	2	3	4	5
Maille (m)	160	113	80	56.5	40	28	20	10
Rapport de largeur	8	5.6	4	2.8	2	1.4	1	0.5
Rapport de la surface	64	32	16	8	4	2	1	0.25

Le plus souvent il n'est pas possible à l'étape de la prospection de faire le sondage exactement sur le point souhaité, donc le point le plus proche est choisi et ce point est relevé sur le terrain par GPS.

Dans cette étape il n'est pas nécessaire que tous les points de sondage soient exactement alignés et à égale distance. Cependant des erreurs sur les coordonnées conduisent à des problèmes, tels que des erreurs de pendage ou des discontinuités apparentes non explicables par les règles géologiques normales.

Actuellement, il y a deux équipes de sondeurs chez AGS. Chaque équipe a deux systèmes logistiques, le premier camion est équipé avec le système de sondage et le deuxième est là pour le service de l'eau nécessaire pour le sondage, pour apporter les tiges de forage, etc. (figure IV.1).

IV.1.2. Carottage

Le système traditionnel de forage était la « tarière » (auger). Ce système est destructif. La position exacte des niveaux géologiques n'est donc pas définie correctement, l'échantillon étant un mélange de différents niveaux. Le système utilisé actuellement pour l'acquisition des échantillons est le carottage avec un carottier d'une capacité de 1.5 m d'échantillon qu'on peut remonter à la surface par un extracteur lié à un câble (figure IV.2).

Pour le forage dans les couches sableuses et argileuses, la couronne est à carbure de tungstène et pour les sondages dans les grisons (conglomérats cimentés par argile) ou le calcaire, la couronne est diamantée. Grâce à l'abrasivité basse de l'argile et la cimentation très faible des sables, la consommation de couronnes est très faible, mais parfois l'existence de galets entre les couches sableuses pose quelques problèmes comme la cassure des segments ou de la couronne.



figure IV.1 Equipe de sondage ; le camion du système sondeuse et le camion de support

La vitesse du forage dans les sables est assez rapide, un avancement proche de 0.5 m/mn est normal. Dans les sables non cimentés, on ne peut pas récupérer de carotte. L'échantillonnage du sable se fait par les débris sortis par l'eau pompée dans la tige de sondage. On les récupère avec une pelle dans un trou prévu près du sondage, et on le met dans un crible de laboratoire pour la séparation de l'eau (figure IV.3).



figure IV.2 Un paramètre important dans l'estimation, est la situation spatiale de l'échantillon. Sur cette photo, on observe une carotte quasiment complète (1.5 m) qui est récupérée à la suite du passage d'une séquence sableuse (pas d'échantillon carotté).

La vitesse d'avancement de la couronne baisse quand elle arrive aux couches argileuses ou de sable argileux. Ce changement de vitesse du sondage est un guide pour le sondeur, il indique la profondeur de la couche argileuse. Pour prendre un bon échantillon, il est nécessaire de baisser la pression hydraulique du système, pour limiter les perturbations physiques.

A la fin de chaque cycle de carottage, il est nécessaire d'augmenter la pression pour créer un bouchon empêchant la carotte de tomber pendant la sortie du carottier. Bien sûr, cette action perturbera la possibilité d'études exactes de la carotte, sur 10 à 15 cm (à la fin et au début), du fait de la déformation de l'échantillon.

La procédure d'analyse est déterminée à partir de l'affectation de codes par le sondeur. Après cette affectation, il y a deux types de contrôle :

Contrôle de qualité d'argile pour attribuer un code AGS aux carottes prélevées par le sondeur et considérées comme des échantillons argileux (bons pour extraction selon la classification AGS).

Contrôle effectué sur les caisses des carottes classifiées non argileuses. Une fiche de synthèse sur le log des carottes est alors remplie pour contrôler et compléter le rapport du sondeur. Si on confirme la classification de la carotte avec des codes « non-AGS », on ne conduira sur elle aucune analyse.



figure IV.3 Mise en caisse des carottes des sondages de prospection, pour étude géologique.

Les sables sont échantillonnés à partir du fluide de forage (en sac plastique). Pour les sondages d'évaluation seuls les échantillons jugés comme kaolin commercial seront mise en caisse.

IV.1.3. Description lithologique du sondage et codage des échantillons

D'importantes variations pétrographiques, minéralogiques ou lithologiques se manifestent tant à l'échelle du bassin qu'à celle des gisements. L'étude de ces variations permet d'établir un classement qualitatif des argiles et ce classement va jouer un rôle important pour l'exploitation car il va servir de base à la sélection. Il va s'agir ici essentiellement de critères macroscopiques.

IV.1.3.1. Couleur

Les principales causes de coloration sont : la présence d'oxydes ou hydroxydes de fer, les matières organiques (fossiles) et la pyrite. Le taux d'humidité peut être important sur l'appréciation de la teinte des échantillons bruts (avant séchage). Certaines argiles d'un gris clair à l'ouverture du front de taille deviennent très blanches, ce critère de variation de teinte doit être pris en compte pour la description.

Pour la description des échantillons carottés, les sondeurs utilisent un code composé de deux chiffres (Tableau IV.2), le premier chiffre est un indice de couleur (1 à 9 pour blanc, jaune, gris, rose, vert, bleu, rouge, marron et noir) et le deuxième chiffre caractérise l'intensité de la teinte (0 à 3 pour indéfinie, claire, neutre et foncée). La mesure de la blancheur ne se fait pas sur tous les échantillons.

La teneur et la composition de la matière organique sont deux facteurs très importants définissant la couleur des argiles kaoliniques des Charentes, Les matières organiques donnent une teinte allant du gris clair au marron-noir en passant par le bleu foncé. La répartition des matières organiques est souvent hétérogène au sein d'un gisement comme à plus petite échelle donnant par exemple des "tâches" aux formes irrégulières

Tableau IV.2. Codes des lithofaciès du bassin des Charentes et code de la couleur des argiles kaoliniques

Lithofaciès				Couleur		Teinte	
Code	Faciès	Code	Faciès	Code	Coul.	Code	Teinte
00	Hors litho	80	Galets	1	Blanc	0	Indéfinie
01	Stériles 1	81	Graviers	2	Jaune	1	Clair
02	Stériles 2	82	Sable grossier	3	Gris	2	Neutre
08	Argiles	83	Sable fin	4	Rose	3	Foncé
10	Argile très maigre	84	Sable peu argileux	5	Vert		
11	Argile maigre	85	Sable argileux	6	Bleu		
12	Argile ½ Grasse à Grain	86	Argile sableuse	7	Rouge		
13	Argile ½ Grasse	87	Argile déclassée	8	Marron		
14	Argile Grasse à Grain	90	Calcaire massif	9	Noir		
15	Argile Grasse	91	C. tendre ou reman.	Exemple			
16	Argile ligniteuse	92	Sable Calcaire	11			Blanc clair
17	Argile pierreuse	93	Sable argil. calc.	52			Rose neutre
71	Indurations	94	Argile à calc.	73			Rouge foncé
72	Grisons	95	Argiles versicolores	32			Gris neutre

Selon l'observation sur les carrières, les oxydes ou hydroxydes de fer peuvent être présents sous les formes suivantes :

- nodules centimétriques
- tâches ou auréoles localisées "rouille millimétriques à centimétriques"
- "lits" de colorations orangés (oxydes de fer) liées à l'existence d'une zone de battement de nappe

Il est probable que chaque type de colorations a une origine différente (Delineau 1994).

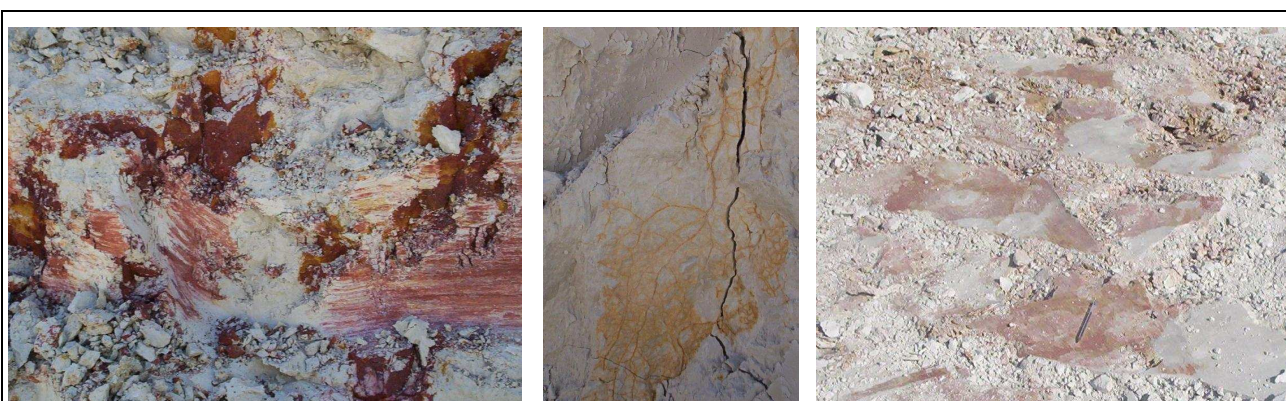


figure IV.4 Différentes colorations du kaolin par les oxydes de fer

IV.1.3.2. Minéraux visibles :

La pyrite (mélange de sulfures de fer où la pyrite domine) se trouve sous différentes formes dans les gisements charentais. Delineau l'a observé en petits cubes millimétriques dans la carrière Fontbouillant, mais il cite aussi la présence de pyrite en nodules de plusieurs kilogrammes. La pyrite sous forme de gros grains est très fréquente dans les argiles pierreuses. Les traces noires de matières

organiques peuvent être confondues avec la pyrite dans la description des sondeurs. La figure IV.5 montre des nodules de pyrite observés dans la carrière de Grand Pas et de la carrière du Maudet.



Selon les observations de Delineau, on peut avoir de véritables horizons de plusieurs dizaines de mètres d'extension latérale et d'épaisseur centimétrique à décimétrique qui recouvre (et) ou se trouve intercalé entre les niveaux d'argile. Cette tendance de la pyrite à la ségrégation par rapport aux niveaux argileux pose un problème d'échantillonnage.

L'observation macroscopique des argiles en place dans la carrière est nécessaire pour bien rendre compte l'abondance de la pyrite. L'abondance de la pyrite varie selon les carrières. La présence de pyrite dans l'argile mérite d'être mentionnée, car si à priori il est facile de séparer la pyrite de taille macroscopique des argiles, les grains plus petits ou les éclats qui sont susceptibles de rester dans l'argile, se retrouvent sous forme de points noirs dans les boudins de chamotte.

D'autre part, l'altération de la pyrite conduit à la formation d'oxydes et hydroxydes de fer qui vont colorer l'argile. La répartition de la pyrite en phases macroscopiques distinctes (grains ou nodules) induit la distribution d'une partie des oxydes de fer, et doit donc à priori faciliter la sélection des argiles exemptes de coloration. Des auréoles colorées peuvent être formés par l'altération de ces nodules. Les pyrites très dispersées dans les argiles peuvent produire une coloration plus vaste.

Le quartz est en général infra millimétrique, son abondance et sa finesse varient dans les gisements, sa présence peut être estimée par des tests simples comme le passage d'une lame de couteau sur la surface de l'échantillon. Le bruit de cette action, les traces de rayure sur la surface (leur abondance et leur taille), et la continuité des "rognures" d'argiles sont les critères qui permettent de quantifier la quantité et la forme du quartz.

Les appellations "grasse" et "maigre" utilisées par l'exploitant lors de la prospection traduisent respectivement l'absence ou l'abondance de quartz (Tableau IV.3). L'évolution de ces critères est importante du point de vue sédimentologie, une augmentation de la teneur en quartz traduit un milieu de sédimentation de plus forte énergie. Les variations de teneur en quartz, montrent un changement du milieu de sédimentation, qui aura des effets sur d'autres critères (couleur ...) permettant ainsi de distinguer des structures sédimentaires (petites lentilles) au sein de la lentille principale constituée par la carrière.

Les micas sont perceptibles à la lumière, on peut même voir les plus grossiers à la loupe. L'étude en microscopie électronique montre qu'ils correspondent à une illite riche en Mg le nom de Phengite a été proposé par Deer et al. (1966) pour ce type de mica.

IV.1.3.3. Aspect

Les kaolins présentent des textures et des structures variées : aspect de la cassure, structures massives ou laminaire, etc.

La cassure des argiles pierreuses est conchoïdale (figure IV.7.b) mais se présentent sous des faciès variés qui sont à l'origine de diverses appellations utilisées par les sondeurs, Delineau cite les appellations utilisées dans la carrière Pas des Pierres ; qui sont sèche blanche dure, sèche blanche friable, et sèche pierreuse.

Si les argiles pierreuses sont des argiles hyperalumineuses, les argiles hyperalumineuses peuvent se rencontrer sous d'autres faciès, grasse blanche, grasse brune, etc. et sont alors classées, à tort, comme des argiles grasses ordinaires (code 15 ; voir Tableau IV.3).

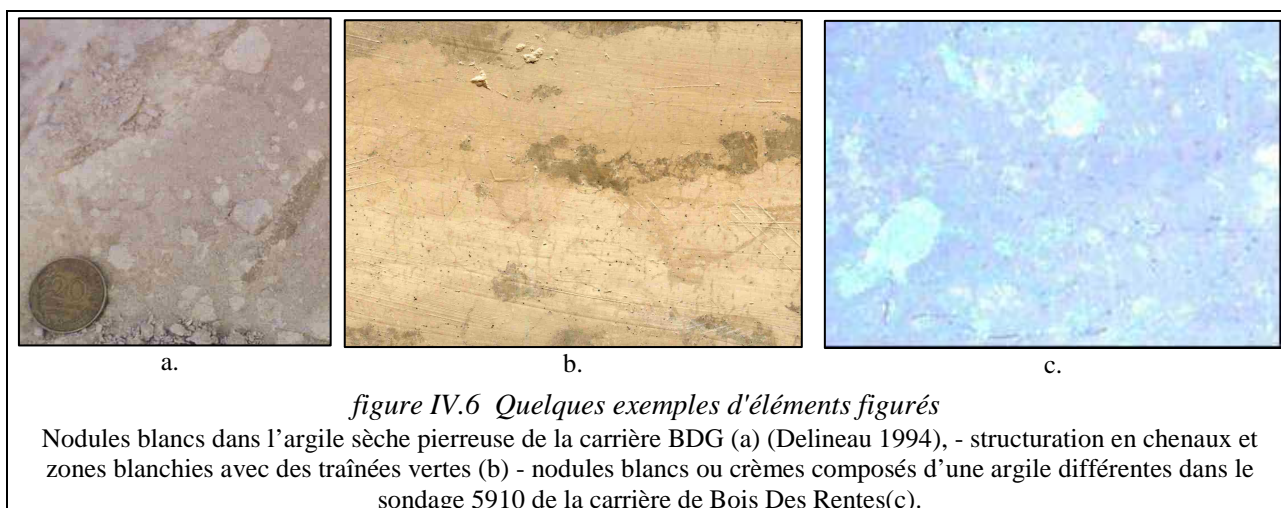
Du point de vue rhéologique, les argiles peuvent être classifiées comme argile plastique ou argile non-plastique. Les argiles pierreuses se dispersent très mal dans l'eau. La plasticité du kaolin est liée à la présence de quartz et de mica et d'argiles smectites, Delineau a mis en évidence le rôle des smectites sur la qualité rhéologique des kaolins des Charentes.

IV.1.3.4. Éléments figurés

Les nodules sont les figures les plus fréquentes dans les argiles kaoliniques. On observe par exemple des nodules argileux clairs qui sont enrichis en gibbsite (figure IV.6), des nodules argileux bleu foncé qui sont plus riche en Fer. Les traces de matières organiques, sont repérables grâce à leur structure ligneuse bleue foncée à noire ou à l'aspect de feuilles décomposées noires. Les matières organiques sont souvent extrêmes fines et complètement mélangées à la matrice argileuse ce qui rend leur détection très difficile.

On connaît d'autre part des éléments centimétriques d'argile claire qui contiennent une phase argileuse différente de la kaolinite environnante, ces éléments sont connus sous titre de "galets mous".

Les pistes de ver et les chenaux de circulation des fluides sont moins cités dans les bibliographies sur les argiles kaoliniques des Charentes.



Une fois recueillies les carottes, une description lithologique succincte en est faite selon une classification mise au point par l'entreprise. Cette classification aboutit à un code qui figure dans le Tableau IV.3. Les faciès lithologiques sont présentés d'une manière descriptive. Les codes et la dénomination ne correspondent pas nécessairement aux définitions classiques, mais cette classification a été faite par l'entreprise en tenant compte de la variation et des critères locaux.

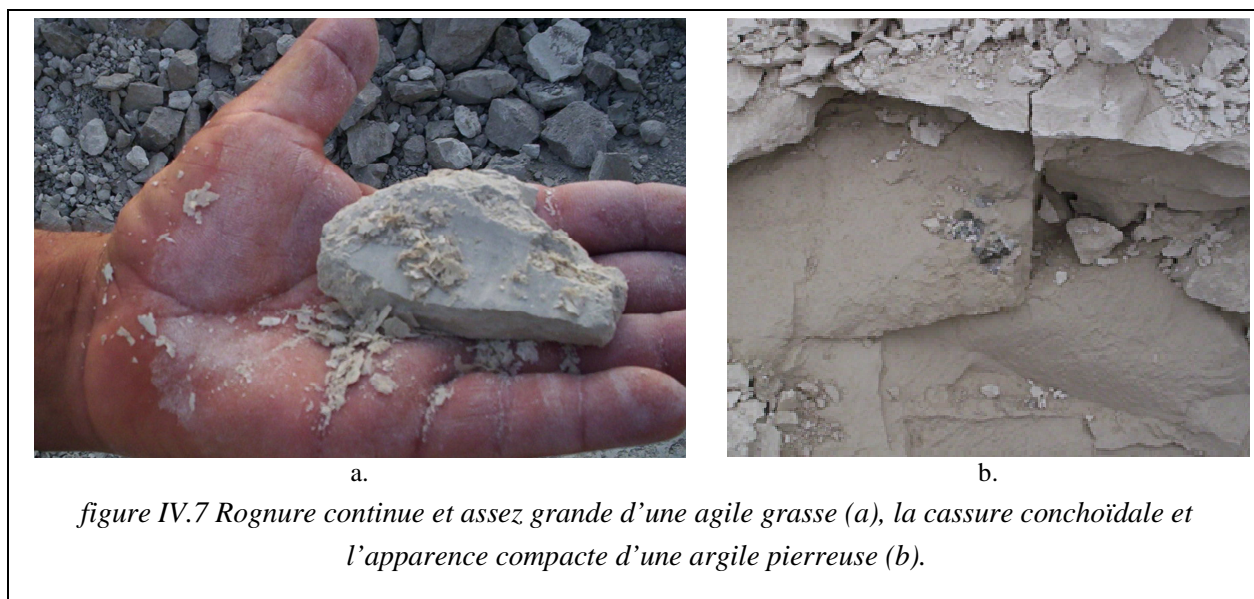


Tableau IV.3 Description lithologique des codes des lithofaciès du Bassin des Charentes

Code	FACIES	Description	Analyse/ Al_2O_3 attendue (%)
10	Argile très maigre	Argile kaolinique qui contient des sables, on entend le bruit du sable en grattant la carotte au couteau, on voit les grains de sable	Pour certain <30% Al_2O_3 PF et T40 et suivant le résultat une chimie
11	Argile maigre	Argile kaolinique qui contient des grains très fins de sables, on entend le bruit du sable en grattant la carotte, la surface grattée n'est pas lisse	Oui ~30% Al_2O_3
12	Argile ½ Grasse à Grain	Argile kaolinique qui contient des grains très fins de sables, on entend moins, le bruit du sable en grattant la carotte, la surface grattée est plus lisse	Oui ~34% Al_2O_3
13	Argile ½ Grasse	Argile kaolinique exempte de sable, la surface grattée est lisse, mais on a de petites rognures (teneur moyenne d' Al_2O_3)	Oui ~37% Al_2O_3
14	Argile Grasse à Grain	Argile kaolinique qui contient très peu de sable, les grains laisse des rayures sur la surface grattée, en le grattant on a de rognures plus grandes, les petites plaque mica brillant à la lumière sont visibles	Oui ~40% Al_2O_3
15	Argile Grasse	Argile kaolinique exempte de sable, en la grattant on a des rognures plus grandes, la surface gratté est très lisse, de petites plaque mica brillant dans la lumière sont visibles	Oui ~42% Al_2O_3
16	Argile ligniteuse	Argile que contient une quantité des matières organiques, qui se manifeste par la couleur noire ou brune.	NON Ponctuellement PF
17	Argile pierreuse	Argile kaolinique exempte de sable, la densité de l'argile et sa compacité sont élevées, on le sent en tapant le couteau sur la carotte, parfois on voit dedans des nodules	Oui >44% Al_2O_3

Tableau IV.3.suite. Description lithologique des codes des lithofaciès du Bassin des Charentes

Code	FACIES	Description	Analyse/ Al ₂ O ₃ attendue (%)
00	Hors litho	Stérile, sable de couverture, inconnu, cavité, etc. ... (tous faciès non classés)	Non
01	Stériles 1	sable de couverture (sable de Périgord) tous matériaux de recouvrement au dessus du toit de l'exploitation	Non
02	Stériles 2	sable de couverture (sable de Périgord) matériaux stériles au dessous du toit de l'exploitation.	Non
08	Argiles	Argile verte (contient des smectites) toutes argiles confondues (du 17 au 85)	Non (aléatoire)
71	Indurations	Conglomérat cimenté par argile	Non
72	Grisons	Conglomérat cimenté par argile	Non
80	Galets	Sédiment avec de gros grains plus de 2mm.arrondis	Non
81	Graviers	Sédiment avec des grains entre 1mm et 2mm.anguleux	Non
82	Sable grossier	Sédiment avec des grains entre 0.02 mm et 1mm	Non
83	Sable fin	Sédiment avec des petits grains entre 0.002 mm et 0.02mm	Non
84	Sable peu argileux	Sable qui contient jusqu'à 30% d'argile	Non
85	Sable argileux	Sable qui contient entre 30 et 70% d'argile	Non
86	Argile sableuse	Argile qui contient jusqu'à 30% de sable	Non
87	Argile déclassée	Argile très colorée par la présence des oxydes de fer ou de titane	Non
90	Calcaire massif	Socle massif	Non
91	Calcaire tendre/remanié	Calcaire tendre ou remanié	Non
92	Sable et calcaire	Sable contenant des carbonates	Non
93	Sable argile calcaire.	Sable contenant de l'argile et des carbonates	Non
94	Argile /éléments calcaire	Argile avec des éléments carbonatés	Non
95	Argile versicolore.	Idem argiles déclassées mais à la base des dépôts tertiaires	Non

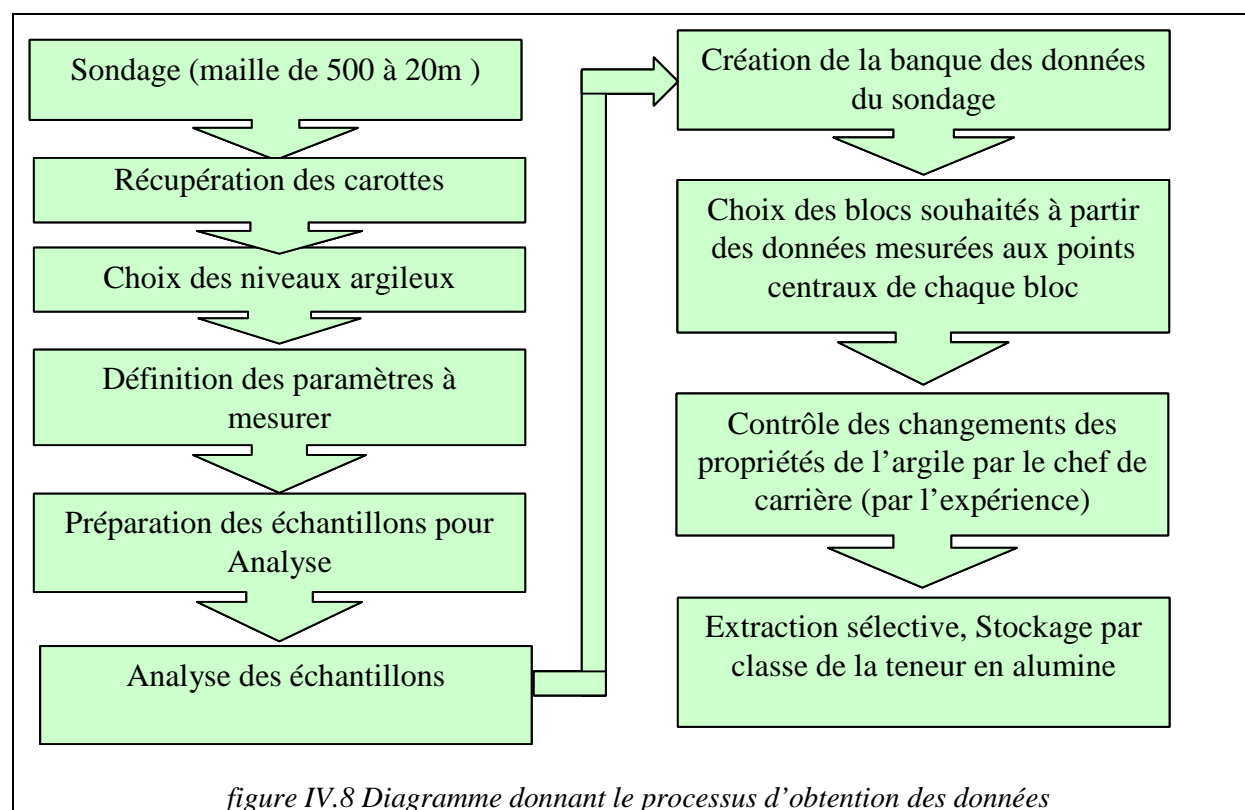
La présence du quartz et la taille de ces grains sont contrôlés par l'observation visuelle et le test au couteau. C'est la méthode traditionnelle pour tester l'argile : si l'argile est riche en sable, en grattant, on entend le bruit du sable. Une faible présence de sable laisse les traces de rayure sur la surface lisse grattée par le couteau. Si l'échantillon a du sable très fin, on a de petites "rognures". Les argiles kaoliniques très pures, exemptes de quartz et de gibbsite, ont un aspect très doux et les "rognures" sont assez grandes (figure IV.7.a). L'argile pierreuse est très dure et dense d'où son appellation (figure IV.7.b).

Les argiles kaoliniques de qualité industrielle sont codées de 11 à 17. L'argile ligniteuse est définie par code 16, cette argile n'a pas d'intérêt économique, mais comme on a vu dans le modèle des kaolins de Géorgie, ces matières organiques ont joué un rôle important dans la formation du kaolin industriel. Ce modèle peut être valable pour les argiles des Charentes en supposant une boue d'argile relativement riche en matière organique. Le critère le plus important pour la classification lithologique des argiles des Charentes est la présence des impuretés grossières.

C'est sur cette base que s'effectue la sélection des échantillons, par exemple pour une argile demie grasse (code 13 ; voir Tableau IV.3), on attend une teneur en Al_2O_3 d'environ 37 % (sur l'échantillon cuit). La précision du critère "code lithologique" pour présenter la composition chimique et son évolution d'un gisement à l'autre est discutée plus loin.

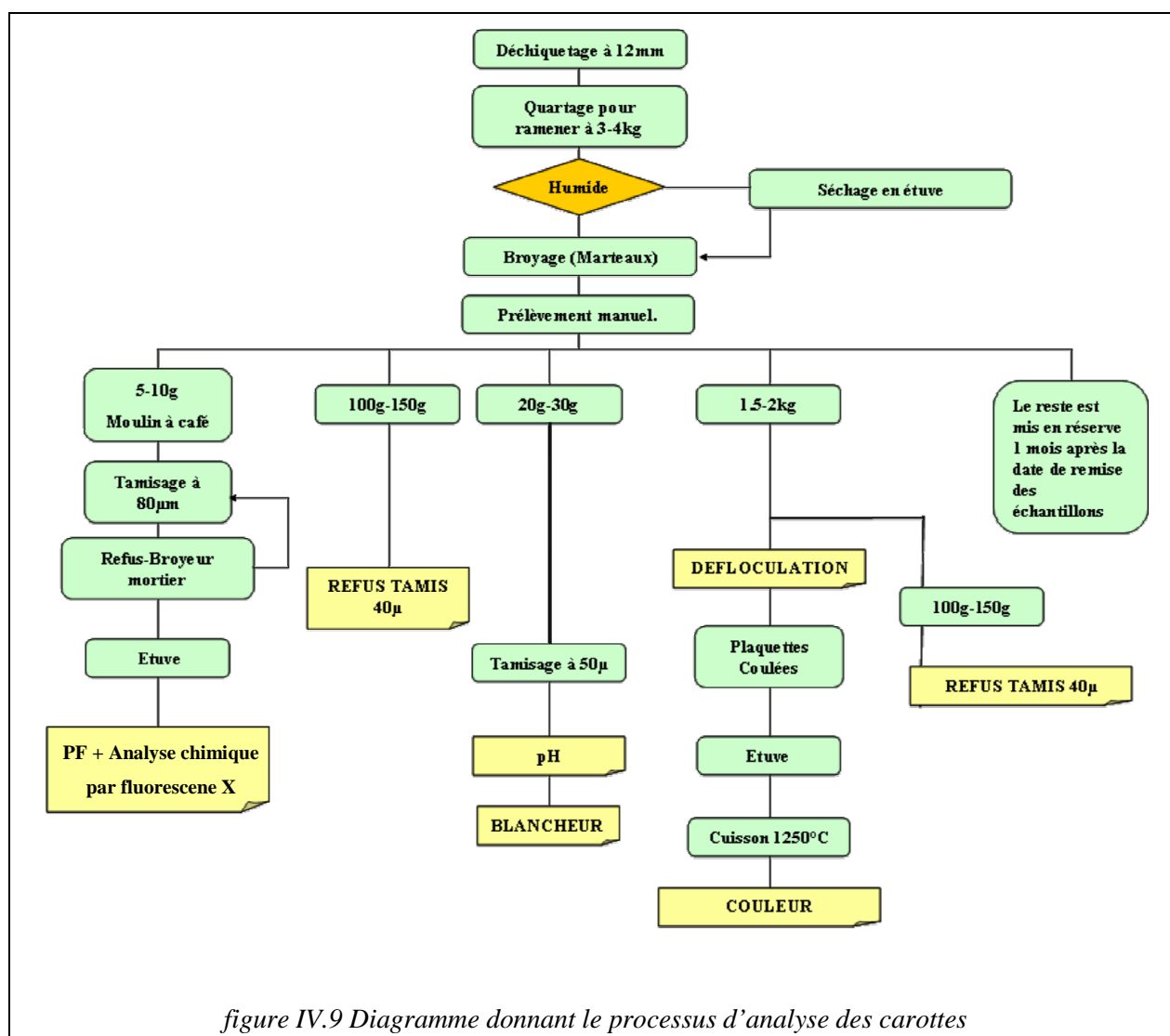
IV.1.4. Préparation et analyse des échantillons

La figure IV.8 présente le schéma général de l'échantillonnage et le choix d'analyse. Les seuls échantillons analysés sont des kaolins ayant une teneur haute en Al_2O_3 (au minimum 30%) avec une couleur acceptable : ni rouge (présence d'oxydes de fer), ni jaune (présence d'hydroxydes de fer) ni noir ou brun (quantité importante de matière organique, principalement de lignite).



En revanche, des valeurs par défaut sont utilisées pour remplacer les données sans analyse dans le calcul des réserves d'argile. Les valeurs par défaut seront remplacées, de façon appropriée, par des codes géologiques et indice de couleur. Le tableau des valeurs ne contient pas les valeurs par défaut de tous les éléments et tous les faciès, les valeurs sont réglées d'un gisement à l'autre en tenant compte du type de gisement et de la ressemblance à un gisement déjà exploité, en tenant compte de l'analyse chimique des couches classifiées, comme « argile AGS ».

La *figure IV.9* montre le diagramme d'analyse des échantillons carottés. Les éléments dosés (présentés sous forme d'oxyde) sont les suivants ; Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2 , K_2O , Na_2O , CaO , MgO et P_2O_5 . Depuis peu AGS dose également le soufre et le carbone dans les échantillons. Cela permet d'estimer la présence de pyrite et des matières organiques.



IV.1.5. Problèmes d'échantillonnage

La taille des échantillons varie en fonction de la variation des critères visuels (code lithologique, couleur etc.), les segments jugés homogènes par ces critères seront pris comme un échantillon unique dont la longueur est un multiple de 0.5 m (le minimum de la précision de niveau d'extraction) avec un maximum actuellement à 2 m. Comme on verra plus tard, cette façon d'échantillonner pose certains problèmes pour le traitement statistique et géostatistique des données, et l'extraction de l'argile.

Il faut toujours accepter d'avoir quelques limitations techniques. Par exemple il n'est pas très pratique de contrôler à chaque pas d'avancement d'un forage la présence ou non de la carotte dans le carottier. Ou encore, comme indiqué précédemment, pour empêcher la carotte de tomber pendant la remontée du carottier, il est nécessaire de faire un bouchon d'argile au début du carottier. Cette partie d'échantillon ne sera pas représentative des terrains. A ce moment là, on aura une déformation significative de la carotte. En particulier, quand le carottier est complètement rempli par la carotte, cette déformation sera très marquée à la fin du carottier ou dans les parties de carotte qui ont une épaisseur inférieure au diamètre intérieur du carottier.

Bien sûr, l'erreur sur l'estimation de la position augmente quand il y a assemblage de plusieurs carottes. Cette erreur se produit par exemple quand il y a une alternance de matières non récupérées (les sables) et de matières récupérées (l'argile, l'argile sableuse et le sable argileux).

La surestimation ou la sous-estimation sont des phénomènes courants dans ce cas là. On appliquera donc deux principes très importants dans le calcul de l'estimation et spécialement pour les techniques de la géostatistique. Ces deux principes sont :

- le positionnement juste et précis des échantillons,
- l'analyse juste et précise des teneurs pour chaque échantillon

Un problème est celui de la représentativité de l'échantillon carotté, par rapport à la réalité du terrain. Les phénomènes très locaux comme les fentes de dessiccation remplis par du sable (figure 2.12.a) ou une coloration par oxydation des nodules de pyrite peuvent mettre en question la représentabilité de l'échantillon. La présence d'un nodule centimétrique de pyrite dans une carotte augmente considérablement la teneur mesurée de l'échantillon.

Les phénomènes naturels sont en général continus, et les passages brutaux sont très rares. L'exemple de l'analyse de chaque demi-mètre de carotte du sondage S5.05910 confirme qu'il y a une variation de la teneur à l'intérieur des segments longs échantillonnés (figure IV.10). Cette étude a été réalisée après l'observation d'écart important de la teneur entre des échantillons très proches.

Pour mieux définir la zone du sud-ouest du gisement BDR, AGS a effectué une série de sondages successifs (en 3 ou 4 étapes de 3m) sur une maille de 10 m. Les sondages de chaque étape ne sont pas exactement calés sur la position de l'étape précédente et tous ont été enregistrés individuellement. Cela produit des zones de chevauchement ou de manque.

On dispose donc de la possibilité de comparer les échantillons pris sur le même niveau kaolinique à une faible distance, le seul facteur qui empêche une comparaison parfaite, c'est le fait que les carottes n'ont pas été coupées exactement aux mêmes cotes. On compare donc ici, les composites des segments communs. Pour chaque composite, on calcule la moyenne pondérée des segments (par la portion de la longueur de l'échantillon qui est dans le composite). Le Tableau IV.4 montre un résumé de cette comparaison, la différence entre les teneurs des composites peut être expliquée de différentes façons :

- Premièrement, une variabilité horizontale. Celle-ci ne peut toutefois expliquer qu'une faible différence entre les teneurs, sauf dans le cas où l'on serait situé sur une frontière proche d'un changement brutal de faciès.
- Deuxièmement, la variabilité ponctuelle, au sein de l'échantillon. Les échantillons (assimilés à des segments) ne sont pas très homogènes. Cela veut dire qu'on a une différence importante entre la teneur mesurée de l'échantillon et la teneur de la partie d'échantillon ayant participé au calcul du composite, ce qui va à l'encontre de l'hypothèse d'homogénéité (faible variation) de la teneur dans un segment qualifié avec un code d'argile donné. Si cela est vrai, la méthode d'échantillonnage basée sur l'hypothèse de l'homogénéité à l'intérieur d'un segment (présenté par une description lithologique définie) est difficilement recevable.
- Enfin, une troisième hypothèse, consiste à rechercher l'origine de cette différence, dans l'erreur sur les valeurs mesurées (rappel $\epsilon_{\text{totale}} = \epsilon_{\text{Echantillonnage}} + \epsilon_{\text{Préparation}} + \epsilon_{\text{Analyse}}$). On ne dispose pas d'échantillons tests pour examiner si les résultats sont redondants.

Dans le premier exemple on constate une différence d'environ 4 % d' Al_2O_3 entre deux segments à une extrêmement faible distance (10 cm), Dans le deuxième exemple, la différence de la teneur pour le premier segment est acceptable, tandis que pour le deuxième segment la différence de la teneur s'élève à environ 2.5% pour Al_2O_3 et ~1.7% pour Fe_2O_3 , pour une distance latérale de 2.29 m.

Suite à ces observations, on a analysé les données d'un nouveau sondage dans ce gisement chaque demi-mètre. Les rectangles rouges montrent la taille des échantillons qui pourraient être pris par la

méthode pratiquée chez AGS, le premier échantillon aurait une longueur d'un mètre et le deuxième 2m et le troisième 1m. Compte tenu du changement de lithologie chaque demi-mètre, les autres échantillons auront par conséquent une longueur de 50cm (figure IV.10).

Tableau IV.4 Comparaison des moyennes de la teneur des quelques composites sur les sondages à une faible distance

Nom SND	XSND	YSND	Z toit	Z Mur	Litho	PF	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃
S5.05666	401535.41	335643.23	62.24	61.74	12	13.8	42.4	1.35	4.01
	401535.41	335643.23	61.74	60.24	14	14	42.65	1.51	3.84
	401535.41	335643.23	60.24	59.24	17	14.8	44.82	1.54	0.99
S5.05692	401535.41	335643.33	60.15	58.65	17	16.1	48.86	1.65	1.66
	401535.41	335643.33	58.65	57.15	17	14	45.74	1.29	1.01
Chevauchement	60.15-59.24				17	14.8	44.82	1.54	0.99
	Distance= 0.10m				17	16.1	48.86	1.65	1.66
S2.11693	401594.25	335667.09	65.1	64.6	15	14.1	41.59	1.42	2.67
	401594.25	335667.09	64.6	63.6	17	15.1	44.82	1.45	1.06
	401594.25	335667.09	63.6	62.1	17	15.4	45.59	1.9	0.95
S5.05743	401594.72	335669.33	64.9	63.4	17	15	45.86	1.45	0.86
	401594.72	335669.33	63.4	61.9	17	16.1	46.54	1.77	0.88
	401594.72	335669.33	61.9	60.4	17	18.9	52.36	1.63	1.22
Chevauchement	64.90-63.40				17	14.81	45.54	1.50	1.08
	Distance= 2.29m				17	15.00	45.86	1.45	0.86
	63.40-62.10				17	15.40	45.59	1.90	0.95
	Distance= 2.29m				17	16.10	46.54	1.77	0.88

La figure IV.11 présente le résultat d'analyses chimiques des échantillons le long du sondage, On constate une ressemblance très marquée entre la variation d'Al₂O₃ et la perte au feu (PF). La corrélation entre le fer et la potasse est très bien présentée sur cette figure. La corrélation entre les variables est abordée au paragraphe IV.7.4, à l'échelle du bassin et dans certains gisements. Cette figure confirme la corrélation PF-Al₂O₃ et Fe₂O₃-K₂O à l'échelle très locale.

Dans le segment le plus long, la teneur en Al₂O₃ démarre à 45.2 % pour aboutir à 50.5 % soit un écart de ~5.3 % d'Al₂O₃ (voir figure IV.11) La moyenne de la teneur pour ce segment est égale à 48.2 %. Cette moyenne calculée est équivalente de la teneur mesurée pour l'échantillon de 2 m de long broyé et bien homogénéisé.

Une chute considérable de la teneur en Al₂O₃ peut être observée entre le segment 52.0-52.5 m et le segment 52.5-53.0 m, l'observation visuelle montre un changement graduel de la qualité d'argile sur une petite distance de 40 cm.

Une autre chute de teneur en Al₂O₃ est visible à la profondeur de 54 m. Ce genre de variation est facile à voir sur le terrain, par un changement brusque de la lithologie. Ce qui ne peut pas être distingué par les exploitants est les changements de premier genre. Surtout quand une unité présentée par un segment long est exploitée en différentes étapes en supposant la même valeur pour chaque partie exploitée.

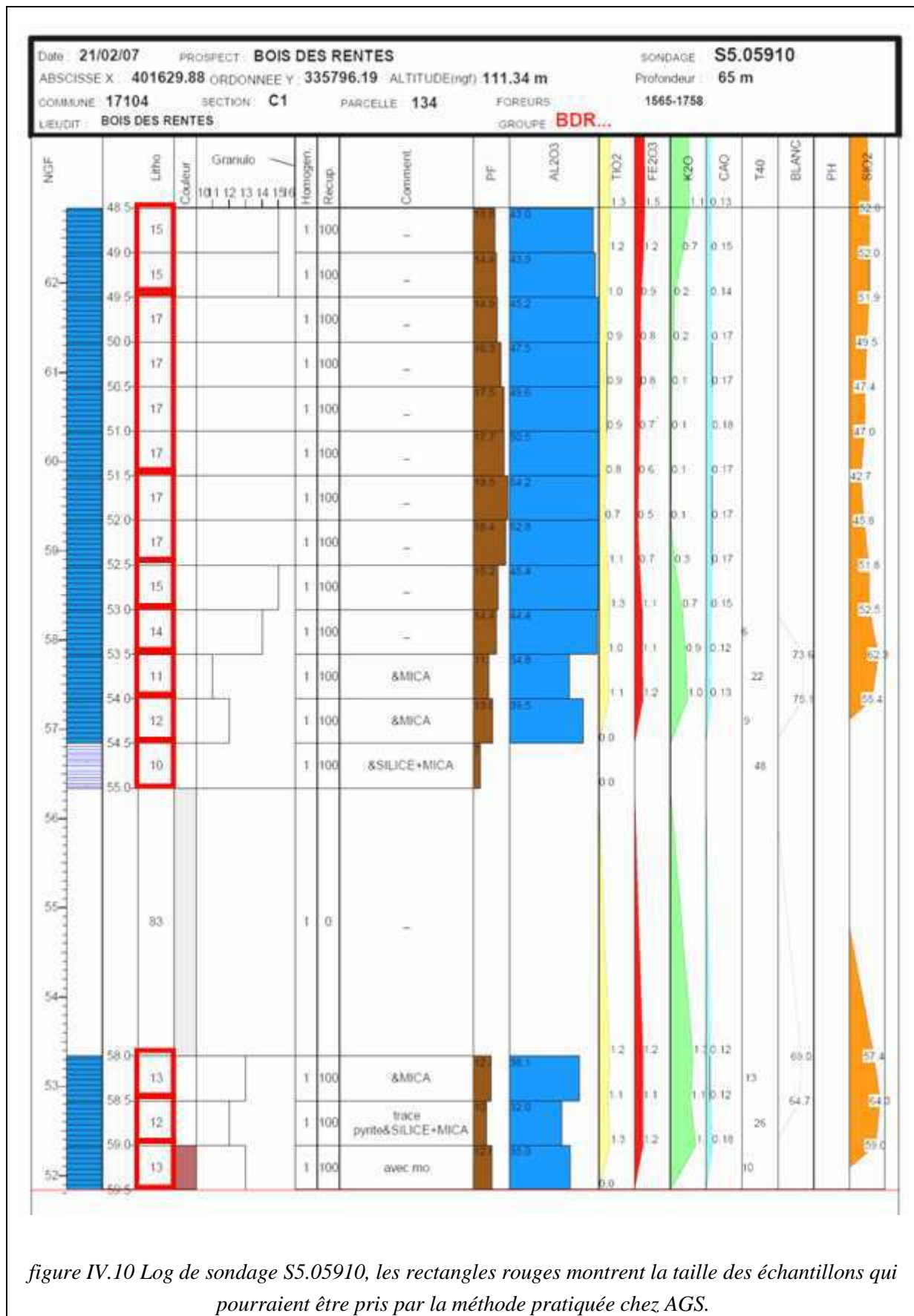
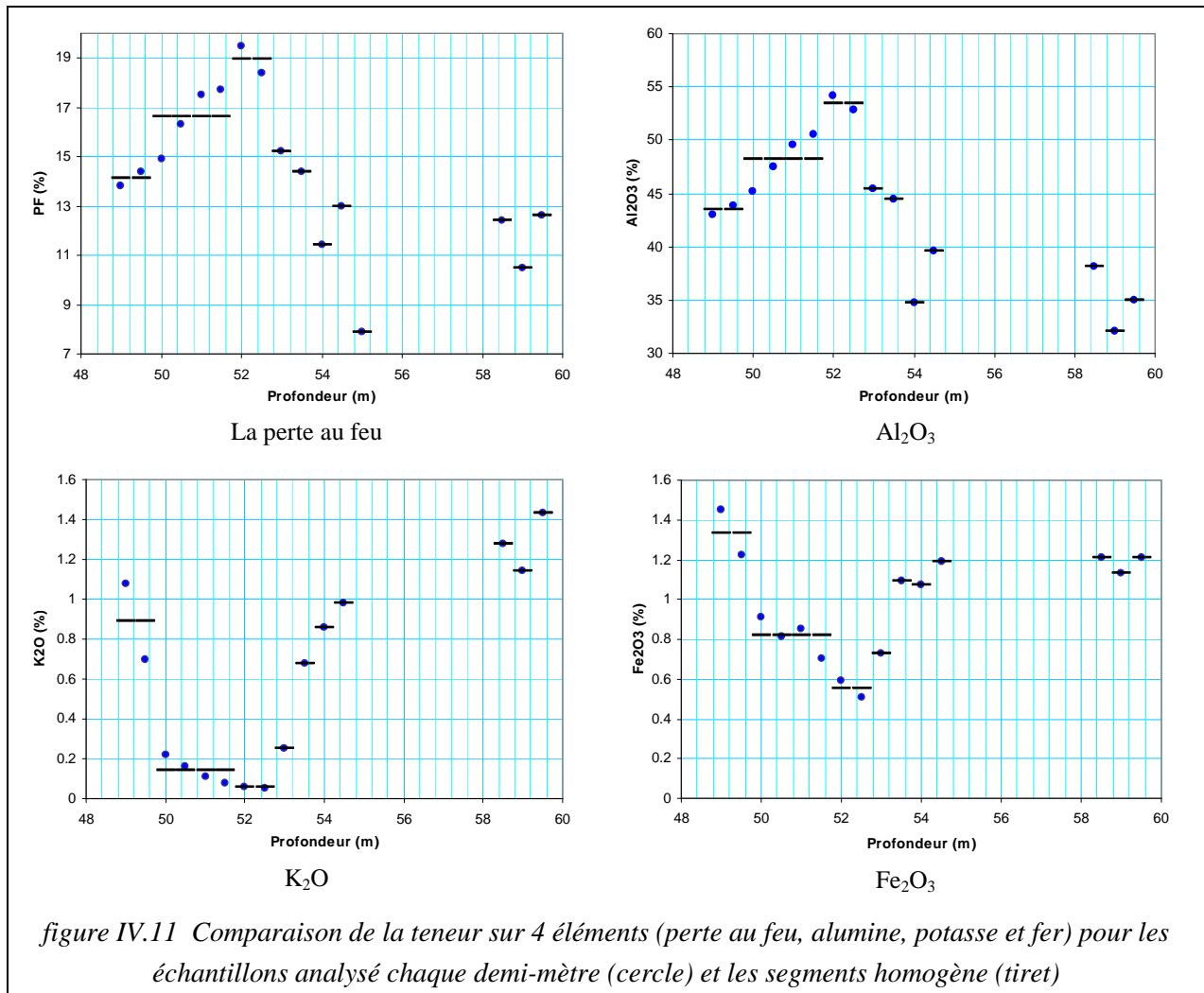


figure IV.10 Log de sondage S5.05910, les rectangles rouges montrent la taille des échantillons qui pourraient être pris par la méthode pratiquée chez AGS.



L'extension d'une valeur mesurée ponctuelle ou d'un faible volume (ce qui est le cas d'échantillons carottés) à une masse ou un volume plus grand est toujours accompagné par une erreur, qu'on l'appelle l'erreur d'extension.

L'utilisation des valeurs par défaut pour combler les lacunes d'analyse, pose certains problèmes, comme un lissage de la variance. En plus dès que ces points participent à l'estimation d'un bloc, ils introduisent un écart entre valeur vraie et valeur par défaut. Cela peut être une source supplémentaire pour le biais conditionnel d'estimation. C'est à dire qu'on sous estime la partie riche du gisement et par contre on surestime la partie pauvre, parce que en général on attend un stérile plus riche au voisinage d'une couche riche mais la valeur par défaut sera inférieure à cette valeur, et inversement pour les couches moins riches. Au cas où on n'a pas d'échange entre les couches sédimentées cela ne peut pas être perturbant, mais l'existence des phénomènes de post-sédimentation met en évidence la circulation des fluides et donc des éléments chimiques.

Il faut savoir que cela est une sorte de conditionnement de limite du gisement.