

GEOCHIMIE DES SOLS DE LA MANGROVE DE CAMAU

Lexuan-Thuyen & C. Marius

1. Le Milieu Naturel

Située à environ 150 km au Sud du bras principal du Mékong entre 8°34' et 8°53' de latitude Nord et 104°43 et 105°43 de longitude E, la mangrove de CAMAU couvre une superficie de 250 000 ha. C'est sans doute l'une des mangroves les plus riches en espèces du monde. En effet la flore comprendrait d'après Bocquillon, 59 espèces réparties en 4 groupes, et toutes les espèces de *Rhizophora*, *Bruguiera* et *Avicennia* sont représentées. Parmi les espèces les plus importantes, on citera :

- *Rhizophora apiculata*, *Rh. mucronata*, *Rh. stylosa*
- *Avicennia alba*, *Av. officinalis*, *Av. marina*
- *Bruguiera gymnorrhiza*, *B. parviflora*, *Br. Cylindrica*
- *Sonneratia alba*, *Ceriops tagal*, *Nypa fruticosa*

La pluviométrie totale, à CAMAU est de 2383 mm répartie sur 7 mois.

Toutes les eaux qui circulent dans le delta du Mékong sont influencées par la marée dont l'amplitude varie d'une côte à l'autre. Sur la côte Est, la marée est semi-diurne avec une amplitude de l'ordre de 4 m, alors que sur la côte Ouest elle est diurne et voisine de 1 m. Par ailleurs, un grand chenal de marée qui relie la mer de Chine au Golfe de Thaïlande est drainé par des chenaux secondaires perpendiculaires à cet axe et qui forment un réseau plus dense dans la partie Sud. Du point de vue topographique, on peut distinguer 4 zones principales :

- une zone plate en limite de la plaine deltaïque de CAMAU, en domaine suprotidal, au Nord de la zone d'étude. Les sols sont bien développés sur un relief ancien.

- une zone de base centrale, vaste région plate et inondée régulièrement par les marées. Les dépôts de couleur gris foncé, se forment par décantation et sont très riches en matière organique. L'accumulation des sédiments est plus forte dans la partie sud et l'horizon superficiel moins organique.

La partie Nord-Est de la côte est soumise à une érosion rapide.

Dans le Golfe de Thaïlande, c'est une côte de progradation avec une vaste zone intertidale et la terre progresse rapidement près des embouchures de Cùá Lón et du Rach Tau.

2. Matériels et Méthodes

Plusieurs transects ont été étudiés longitudinalement et perpendiculairement en fonction des 4 grandes zones géomorphologiques. (fig. 2)

Des carottes de 1 m ont été prélevées et le pH a été souvent mesuré sur le terrain.

Sur les échantillons séchés, on a procédé aux analyses suivantes, dans les laboratoires de l'ORSTOM à Bondy et à l'Institut de Géologie de Strasbourg.

- Mesure du pH
- Analyse des sels solubles sur un extrait aqueux au 1/10
- Analyse des éléments majeurs et traces par spectrométrie d'absorption atomique.

3. Résultats

88 échantillons de sols séchés à l'air, provenant de 28 profils, ont été analysés. Sur les extraits aqueux au 1/10, on a dosé les ions majeurs solubles : Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , Na^+ et mesuré la conductivité à 25°C et le pH à 1/1.

3.1 Le pH

La valeur de pH sur sol sec varie de 2,98 à 8,01. Il est assez stable dans les profils de sols sous *Avicennia*, mais il devient moins stable et diminue en passant des sols sous *Avicennia* aux sols sous *Rizophora*. (profils cam 16, cam 15, cam 52; cam 20 et cam 21).

3.2. La salinité

Tous les sols sont salés à très salés. En effet, la conductivité de l'extrait au 1/10 est relativement élevée et indique que la salinité de ces sols est nettement supérieure à 4mS/cm. La salinité moyenne est de l'ordre (4,58mS/cm). Par ailleurs, cette salinité varie le long d'un même profil (ex Cam 21). Il y a une seule valeur de à 15,09 mS/cm pour l'échantillon Cam 030. Il existe une bonne corrélation entre la somme des anions (exprimée en meq/100 g) et la conductivité : $r = 0,969$ pour 88 échantillons $\Sigma A = 11,018$ CE - 8,222 (fig. 3).

3.2.1. Anions solubles

a) *Les Sulfates* : Marius (1985) a montré qu'il y avait entre les sulfates solubles et le soufre total une bonne corrélation. Cette relation est intéressante dans la mesure où elle permet, de relier aisément cette valeur à l'acidité potentielle de ces sols.

Dans les sols de la mangrove de CAMAU, le taux de sulfates solubles a une valeur variable, de 1,30 meq/100 g à 47,9meq/100g. Entre le pH et les sulfates solubles on trouve une corrélation négative significative ($r = 0,800$), mais celle-ci est moins bonne entre les sulfates solubles et la conductivité ($r = 0,768$). Les teneurs en sulfates solubles sont différentes dans les profils des sols sous *Avicennia*, sous *Avicennia-Rhizophora* et sous *Rhizophora*. (profils : cam 16, cam 20, cam 15, cam 21, cam 42, cam 52).

b) *Les Chlorures* : la teneur en Cl^- varie entre 17 et 65 méq/100 g; un seul échantillon (cam 030) a une valeur anormalement élevée puisqu'elle atteint 131,31 méq/100 g. La teneur en chlore est inférieure à 10 méq/100 g dans les sols à rizières (profils cam 40, cam 41, cam 51) et elle est élevée dans les sols les moins recouverts à marée haute, indiquant une salinisation par évaporation.

3.2.2. Cations solubles

Il existe une bonne corrélation entre Ca^{+2} , Mg^{+2} et SO_4^{-2}

$$\text{SO}_4^{-2} - \text{Ca}^{+2} \quad r = 0,927$$

$$\text{SO}_4^{-2} - \text{Mg}^{+2} \quad r = 0,975$$

$$\text{Ca}^{+2} - \text{Mg}^{+2} \quad r = 0,948$$

Elles sont moins bonnes entre Ca^{+2} , Mg^{+2} et Cl^- .

La corrélation entre Na^+ et Cl^- est meilleure qu'entre K^+ et Cl^- .

$$\text{Cl}^- - \text{Na}^+ \quad r = 0,985$$

$$\text{Cl}^- - \text{K}^+ \quad r = 0,742$$

Ces résultats indiquent que les principaux sels dans ces sols sont constitués de chlorure de sodium et de magnésium et d'un peu de sulfate de magnésium.

3.2.3. Al et Fe solubles

Nous n'avons dosé ces cations que sur 4 échantillons

Echantillon	pH	Ec ms/cm	Al ⁺³ meq/100g	Fe ⁺³ meq/100 g
Cam 012	4,75	4,15	0,163	0,007
Cam 020	7,78	5,01	0,28	0,004
Cam 030	2,98	15,09	5,269	2,709
Cam 041	3,15	7,97	2,828	1,615

D'une manière générale, les sols à pH acide, inférieur à 4, contiennent des quantités notales de Fe^{+3} et Al^{+3} .

3.3. Géochimie

L'analyse chimique totale a été effectuée par spectrométrie de flamme sur 45 échantillons. Dix éléments majeurs et la perte au feu ont été dosés : Si, Al, Fe; Ti, Ca, Mg, Na, K, Mn, et P. Le dosage de 9 éléments-traces est encore en cours : Sr, Ba, V ; Ni, Co, Cr, Zn, Cu, Zr.

Nous avons calculé et représenté graphiquement les corrélations entre éléments majeurs pour l'ensemble des échantillons et par faciès géomorphologiques.

Nous voyons que :

La perte au feu est en grande partie liée à la teneur en matière organique. Leur corrélation est excellente. ($r = 0,995$ pour 12 échantillons ; fig. 4a). En outre, les corrélations entre la perte au feu, le soufre et les sulfates solubles sont bonnes elles aussi :

Pf - S $r = 0,932$ pour 12 échantillons

Pf - SO_4^{-2} $r = 0,894$ pour 43 échantillons

Les alcalins : le sodium se corréle très bien aux valeurs de Cl^- dans l'extrait à 1/1 Na - Cl^- ($r = 0,969$ pour 43 échantillons). De plus, les relations significatives entre le sodium et la perte au feu ($r = 0,774$) et entre la perte au feu et le chlore ($r = 0,628$) montrent que la matière organique (fibres et racines) absorbent une partie du chlorure de sodium. (fig. 7c)

Il n'existe pas de relation significative entre Na et K.

Les éléments - traces : Il existe de bonnes corrélations entre Ba, V, Cr, Sc, Zr et entre ces éléments et Si, Al, K, Ti.

Les coefficient de corrélations de tous ces éléments pour 12 échantillons sont :

	Si	Al	K	Ti	Ba	V	Cr	Sc	Zr
Ba	0,905	0,959	0,985	0,948					
V	0,818	0,943	0,932	0,900	0,916				
Cr	0,848	0,938	0,922	0,911	0,911	0,969			
Sc	0,860	0,943	0,943	0,927	0,949	0,969	0,964		
Zr	0,964	0,894	0,830	0,948	0,860	0,848	0,877	0,877	

Par leur bonne corrélation avec la silice, l'aluminium et le potassium, Ba, V, Cr, Sc et Zr sont associés à la phase argileuse.

Pour les autres éléments en traces on constate que le cuivre se corréle bien au chrome, le cobalt au nickel et que le zinc ne se corréle à aucun autre élément.

Le soufre, les sulfates solubles et la matière organique : Les corrélations entre ces trois éléments sont bonnes :

S - SO_4^{-2} $r = 0,943$ pour 12 échantillons

S - C $r = 0,900$ pour 12 échantillons

Cela veut dire que d'une part, on peut utiliser les valeurs de sulfates solubles pour évaluer la valeur du soufre total et l'acidité potentielle des sols de la mangrove de Camau et d'autre part, qu'une grand partie du soufre, compte tenu de la très bonne corrélation entre le soufre et le carbone, est sous forme "organique".

L'aluminium : le traitement statistique ne montre pas une corrélation significative entre Al et Si. Mais sur le graphique des corrélations Al - Si en fonction du faciès nous

On peut associer les éléments à intercorrélation positive de la façon suivante :

- un groupe : Al, K, Ti, Ba, V, Cr, Sc, Zr
- un groupe : Al, K, Fe
- un groupe : Si, Ti, Ba, V, Cr, Sc, Zr

Tous trois caractérisent la phase argileuse détritique

Cr, Cu, Co, Ni et Zn appartiennent, eux aussi, à la phase détritique.

- Na, Cl, Pf représentent les sels d'origine marine
- Mg, Mn, Ca, Sr, Y entrent dans la composition des carbonates
- Pf, S et C représentent la phase organo-sulfureuse
- P est d'origine organique

Le traitement statistique ne donne pas de corrélations significatives entre Ca et Mg et Ti avec Si. Mais lorsque l'on regroupe les échantillons en fonction du facies, il apparaît une bonne corrélation positive Ca / Mg et Ti / sauf pour la vase du domaine intertidal qui est plus sableuse (fig. 7d, 7e).

Dans les sédiments de la mangrove, une partie du Silicium est sous forme dissoute et il précipite sur les fibres de matière organique.

Dans la vase lagunaire olivâtre, la composition chimique des concrétions de calcite magnésienne se différencie de celle du sédiment encaissant par une augmentation de CaO, MgO, P₂O₅ et MnO (cf. tabl.).

Echantillon	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	Mn ppm	H ₂ O ₊ %	H ₂ O ₋ %
concretion	26,64	9,57	3,26	22,3	3,38	0,88	1,17	0,38	0,67	2246	22,89	6,59
Cam 493	50,33	18,87	5,2	0,32	1,95	2,01	1,87	0,76	0,06	310	12,95	4,47

Ces concrétions sont probablement d'origine biochimique de type "chlorozoan". Il faut noter que l'on retrouve souvent des concrétions semblables dans les sédiments du front de delta. Dans certains cas, lorsque les sols sont bien drainés, il se produit une réaction entre Ca et le SO₄ libéré par l'oxydation des matériaux sulfidiques et il se forme des cristaux de gypse qui épigénisent les concrétions carbonatées. On observe ce même phénomène d'épigénie dans les profils des sols sulfatés acides de la dépression au Nord de Camau, à une profondeur d'environ 1,50 m.

4. Discussion et comparaison

La zone de mangrove du cap de Camau est une dépression marécageuse formée derrière un cordon littoral. Elle est ouverte sur le golfe de Thaïlande et séparée de la mer de Chine par un cordon côtier argileux, construit sur des sédiments marins comme l'illustre très bien la répartition verticale des associations de Foraminifères dans le profil Cam 63 et par un relief élevé qui empêche les chenaux de marée de déboucher dans la mer de Chine. Dans le profil Cam 63, implanté sur la côte, les foraminifères disparaissent dans l'horizon intermédiaire, à 60-150 cm de profondeur. Il est possible qu'il existait à cet endroit un cordon sableux plus avancé vers la mer et qui a été totalement érodé. Cependant on ne retrouve pas de traces de cordon sableux dans les échantillons proches de cette zone. Une grande partie de la côte aurait donc été érodée. Cette érosion continue encore actuellement et elle provoque l'élargissement de l'embouchure du chenal Cualon. L'érosion latérale entaille les vagues lagunaires plus anciennes, au bord du chenal, tandis que la côte du golfe de Thaïlande subit un phénomène de progradation, créant une grande slikke intertidale.

En ce qui concerne la géochimie des sédiments, dans la mangrove de Camau, Ti, Ba, V, Cr, Sc, Zr, appartiennent à la phase argileuse. Dans la plaine des Joncs Ti n'a aucune relation significative avec les autres éléments et Zr appartient à la phase sableuse. Dans la mangrove de Camau la distribution des éléments tels que Si, Al, Ti, Ca, Mg, K, Na se corrèle bien avec certaines facies.

Les sols de Camau, sous *Rhizophora* et *Rhizophora-Avicennia*, sont des sols potentiellement sulfatés acides, immergés régulièrement par l'eau de mer. Ils sont différents des sols sulfatés acides évolués que l'on trouve dans la plaine alluviale en amont du delta, et qui sont immergés dans l'eau douce pendant 2 à 3 mois et, ensuite, séchés à l'air pendant 5 à 6 mois. L'aménagement et surtout, le défrichage de la mangrove pour la construction des bassins d'élevage de crevettes sur les sols sulfatés acides provoquent un changement de l'humidité et du potentiel d'oxydo-réduction. Par exemple, on observe des traces de jarosite dans les terres rapportées sur les bords des bassins.

5. Conclusions

Il existe une relation étroite entre la couverture végétale, les sols et la sédimentation dans le système de la mangrove de Camau. On observe deux groupes de sols, des Thiosols sous *Rizophora* et *Rhizophora-Avicennia* et des fluvisols sous *Avicennia*.

Les éléments majeurs et éléments-traces de la mangrove de Camau se répartissent en six phases géochimiques.

Il serait très utile d'avoir des déterminations de microfaune, des analyses palynologiques et des datations afin de mieux connaître la paléogéographie et les oscillations du littoral de CAMAU au cours de l'Holocène.

Les analyses géochimiques détaillées des minéraux diagénétiques et des concrétions carbonatées ou gypseuses devraient aider à mieux connaître la pédogenèse.

Enfin, il manque encore des données concernant les différentes zones géomorphologiques du delta du Mékong pour suivre l'évolution des apports du fleuve et faire la relation avec les données déjà acquises sur la Plaine des Joncs.

RÉFÉRENCES

1. Y.BESNUS, C.MOSSER (1976) - *Les groupes à intercorrélations positives* - C.R.Académie des Sciences Paris - T.283, pp 587-590.
2. C.MARIUS, R.DJUWANSAH (1992) (orthographe à vérifier) - *Geochemistry of mangroves soils of Indonesia and Vietnam, 4th Symposium on A.S.S-Hochiminh city - 3/1992.*
3. C.MARIUS, J.PAGES (1990) - *La mangrove de la péninsule de Ca Mau - Rapport de mission.*

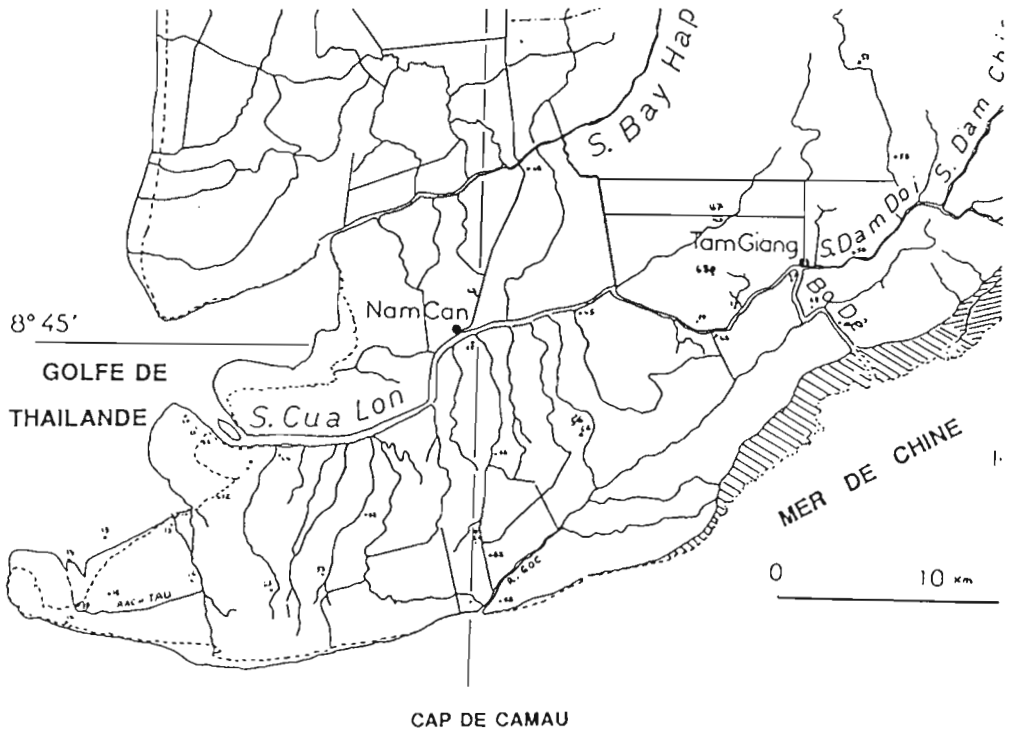
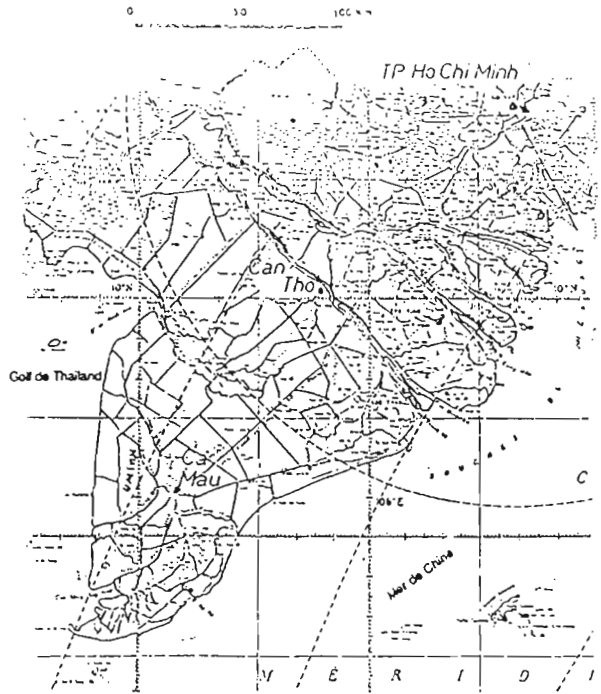
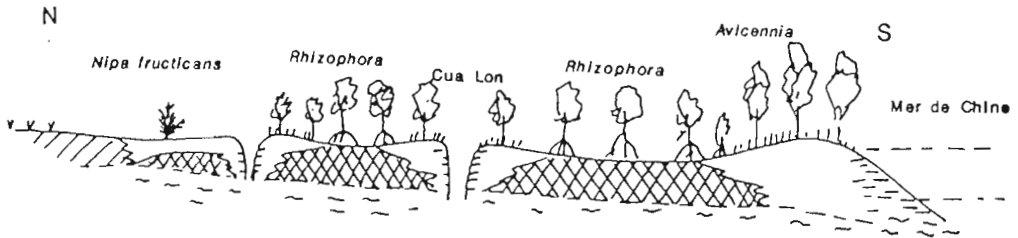
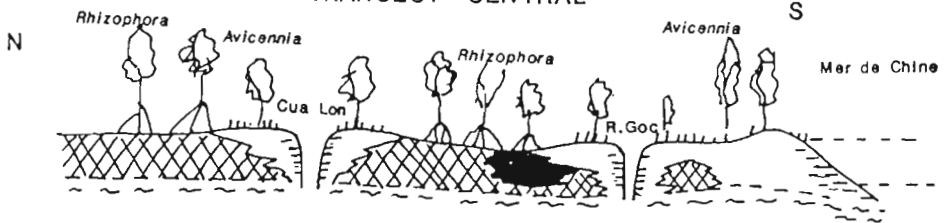


fig.1

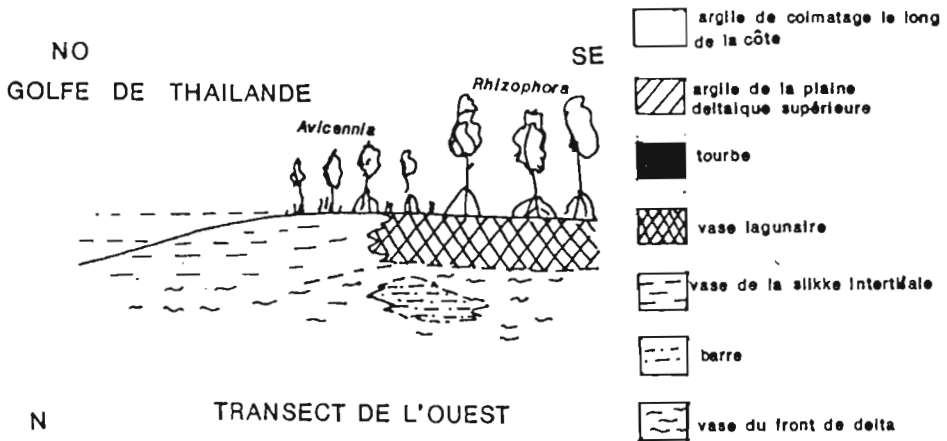
TRANSECT DE L'EST



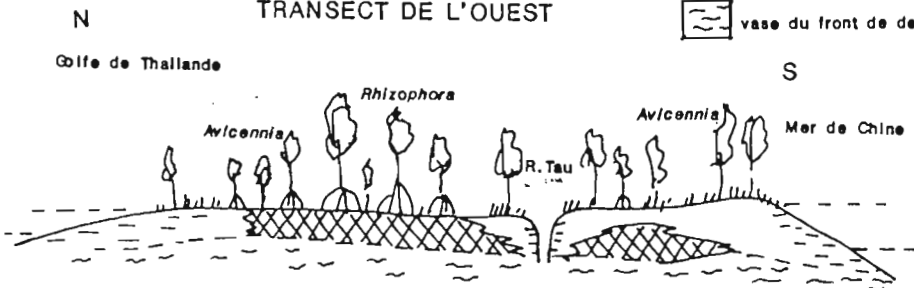
TRANSECT CENTRAL



TRANSECT DE L'EMBOUCHURE DU CUA LON



TRANSECT DE L'OUEST



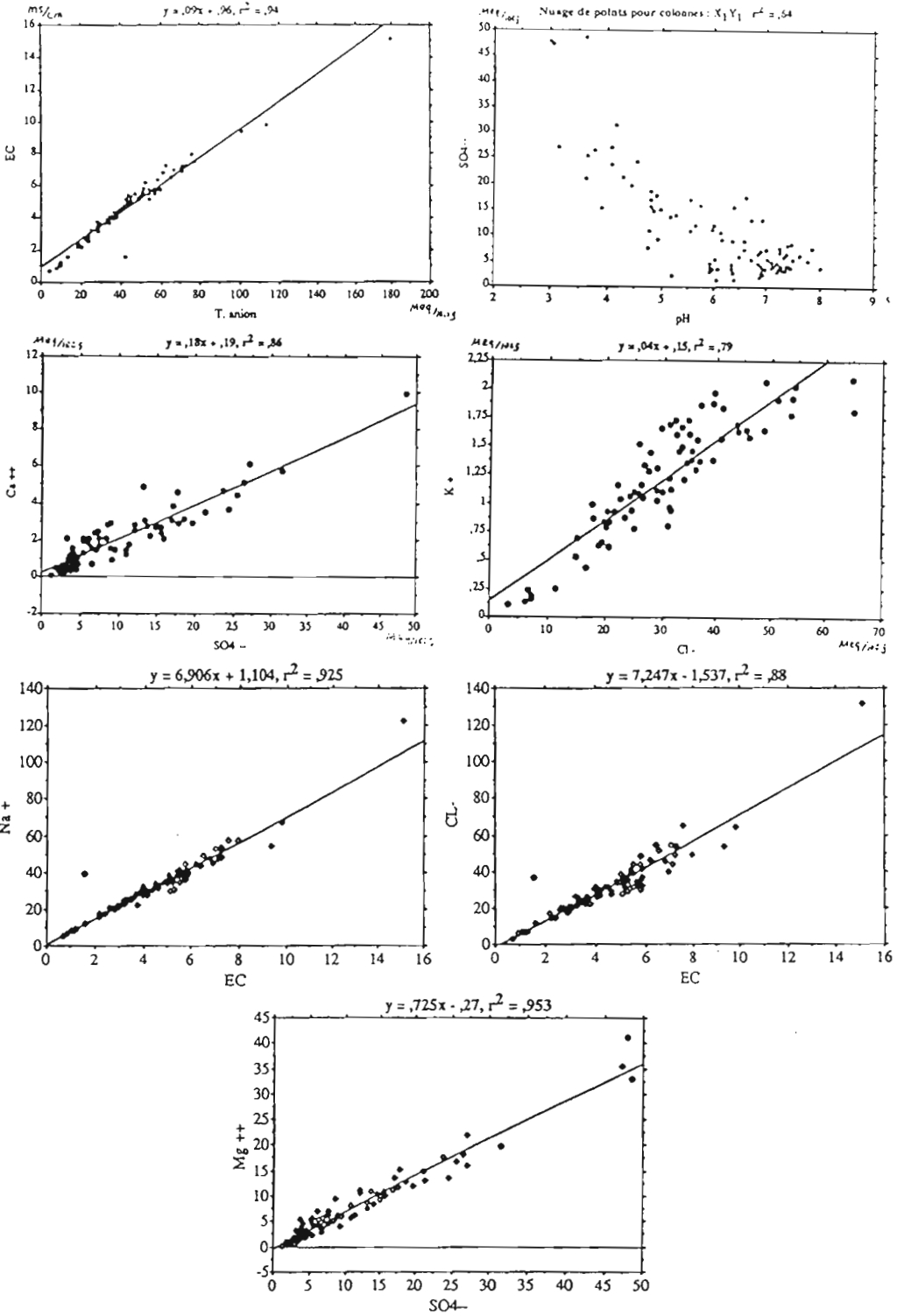


fig. 3

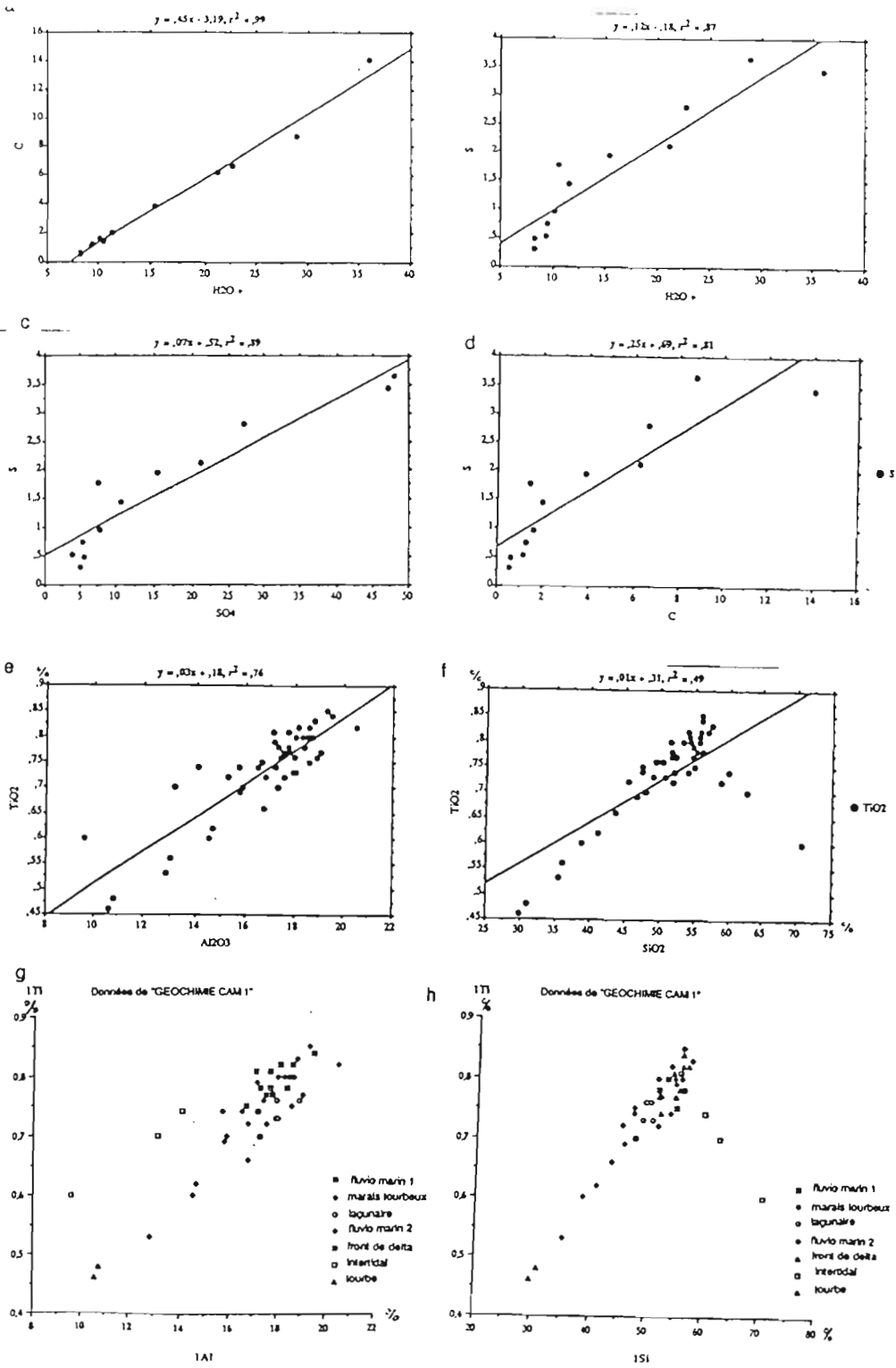


fig. 4

GEOCHIMIE

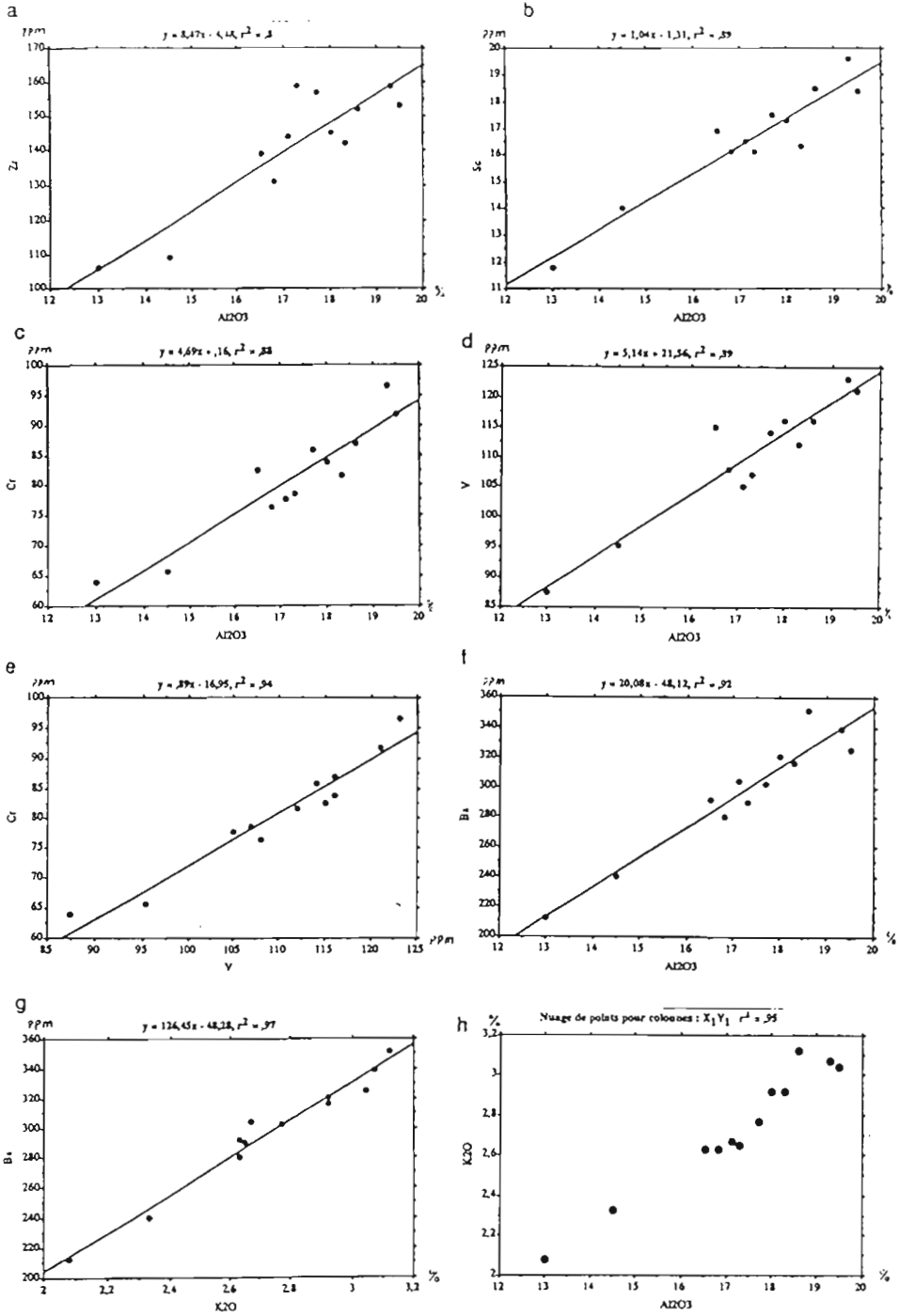


fig. 5

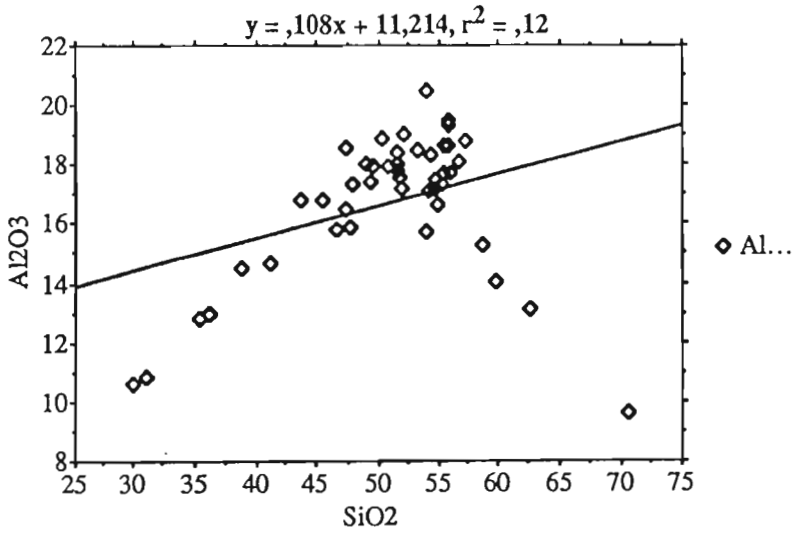
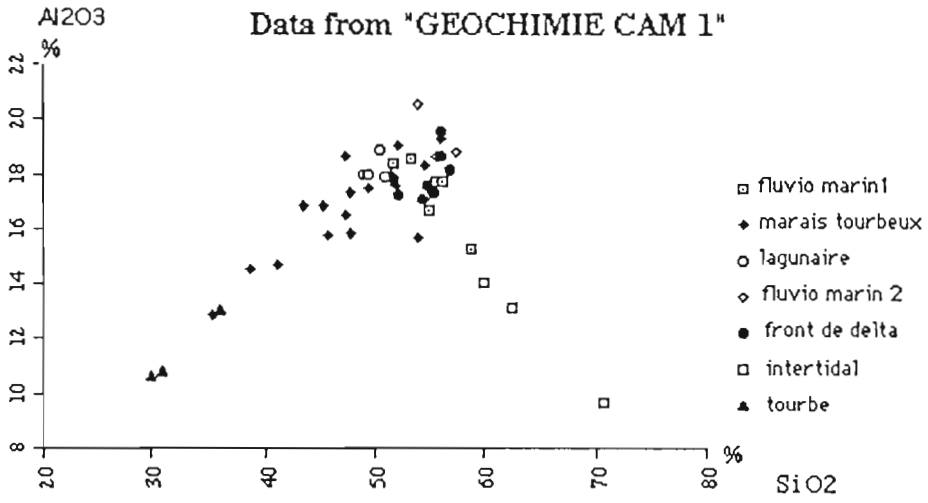


fig. 6

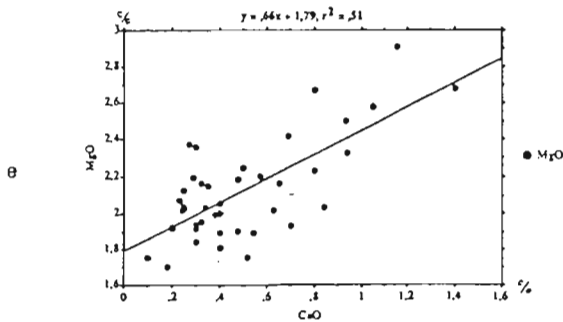
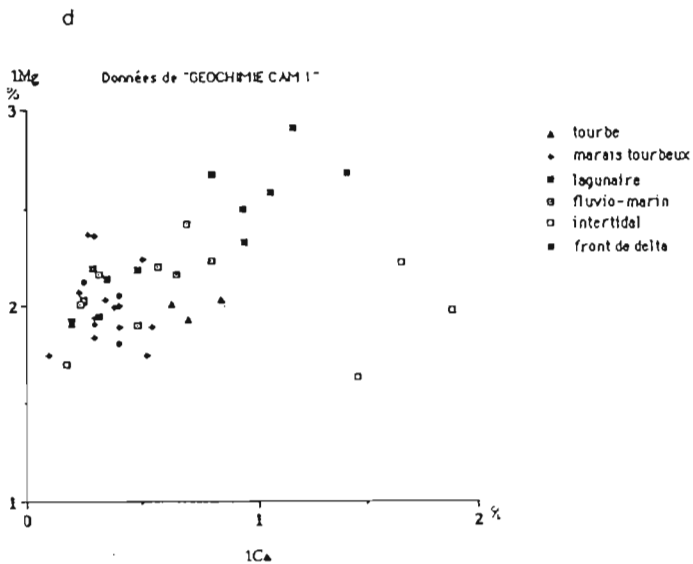
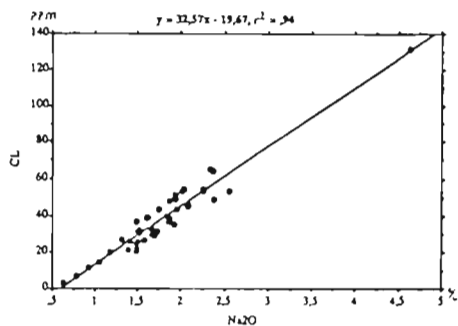
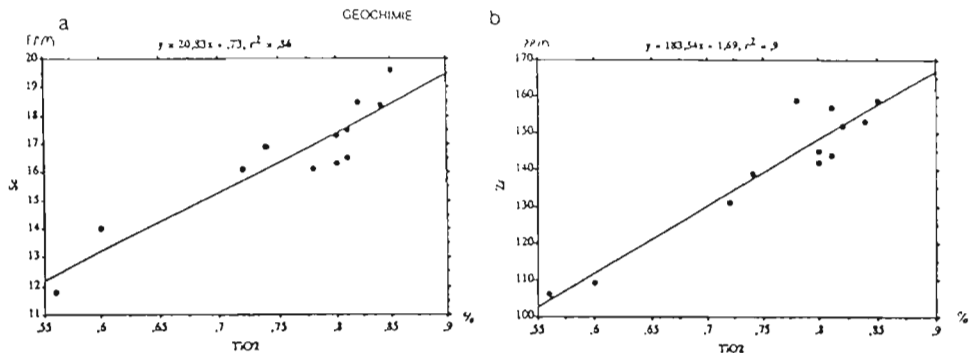


fig. 7

Geochemie - CAMAU

Echantillon	SiO2 %	Al2O3 %	Fe2O3 %	CaO %	MgO %	Na2O %	K2O %	TiO2 %	P2O5 %	Mn ppm	H2O+ %	H2O- %	SO4-- mg/100g	Cl- mg/100g
Cam 522	46,84	15,77	8,26	0,4	2	1,93	1,76	0,69	0,08	232	18,12	3,64	23,66	46,87
Cam 523	49,49	17,96	6,4	0,29	2,19	1,62	1,69	0,76	0,08	310	12,17	3,04	14,65	39,15
Cam 524	32	17,2	6,36	1,05	2,58	1,75	1,89	0,74	0,16	1084	10,84	4,54	7,36	43,96
Cam 525	51,59	17,79	6,57	1,15	2,91	1,67	1,85	0,77	0,11	1317	10,35	4,28	5,44	48,48
Cam211	41,01	14,63	3,44	0,54	1,89	2,07	1,63	0,62	0,11	155	26,45	5,63	15,31	45,44
Cam 212	53,93	15,69	6,12	0,34	2,03	1,66	1,8	0,74	0,16	387	12,44	3,16	14,94	33,24
Cam 214	70,61	9,61	4,77	1,45	1,63	1,49	1,35	0,6	0,12	852	6,12	1,43	3,22	20,56
Cam 581	54,68	17,16	6,31	0,24	2,01	1,42	2,06	0,79	0,26	862	8,7	4,1	2,78	25,65
Cam 582	49,35	17,44	6,04	0,3	1,91	1,32	1,92	0,76	0,16	310	13,95	8,01	11,22	24,71
Cam 583	34,84	17,52	6,71	0,48	2,16	1,16	2,1	0,77	0,12	929	9,38	3,78	2,72	19,62

Sais solubles CAMAL- 2

cam223	7,28	2,83	17,814	4,014	1,4	2,94	0,86	19,56	21,828
cam421	3,82	9,805	64,821	48,561	9,92	33,06	2,092	67,285	113,182
cam422	3,66	6,515	31,052	26,468	4,441	16,761	0,962	34,645	66,52
cam423	6,7	6,148	36,364	13,106	4,886	8,783	1,445	35,584	48,469
cam461	4,91	5,16	36,343	17,777	2,894	15,149	1,555	35,862	54,12
cam462	4,16	6,925	39,401	31,42	5,74	19,98	1,97	45,04	70,821
cam463	4,08	5,76	32,279	27,104	6,123	15,971	1,594	35,862	59,383
cam471	5,92	2,721	19,939	3,762	0,319	1,6	0,785	20,892	23,701
cam472	5,26	5,148	34,565	14,071	2,171	8,273	1,724	36,662	48,636
cam473	6,36	5,393	40,784	8,901	2,884	6,234	1,56	40,871	49,665
cam481	5,92	3,983	31,378	4,671	0,676	3,059	0,939	31,827	36,049
cam482	5,15	6,521	51,033	13,695	2,71	10,978	1,906	49,045	64,728
cam483	5,99	7,011	54,333	12,062	2,834	10,625	2,034	52,785	66,395
cam491	6,32	3,922	30,755	3,485	0,709	2,952	0,798	30,679	34,24
cam493	5,55	7,231	53,682	17,066	3,802	13,602	1,921	53,741	70,748
cam501	5,97	3,309	25,013	3,593	0,421	2,319	0,773	25,114	28,606
cam502	5,55	4,044	26,189	10,975	1,467	5,971	1,154	30,297	37,164
cam503	3,78	7,109	43,745	26,396	5,14	18,126	1,883	47,263	70,141
cam504	6,61	5,822	40,956	17,561	4,601	11,76	1,829	41,115	58,517
cam511	5,91	1,226	6,621	2,879	0,128	0,391	0,235	8,974	9,5
cam512	6,08	2,169	16,608	3,48	0,414	1,271	0,427	17,305	20,088
cam513	6,48	3,922	29,939	6,103	2,031	4,301	1,091	29,323	36,042
cam521	5,64	7,538	64,854	12,053	2,516	11,053	1,811	57,176	76,907
cam522	4,08	7,231	46,867	23,659	4,626	17,813	2,069	47,898	72,526
cam523	4,86	5,515	39,154	14,65	2,695	10,214	1,875	38,088	53,804
cam524	6,59	5,515	43,968	7,362	2,44	6,275	1,622	41,423	51,32
cam525	6,71	5,761	48,48	5,439	2,086	5,773	1,632	44,002	53,919
cam581	6,34	3,186	25,645	2,788	0,452	1,916	1,507	24,501	28,433
cam582	5,97	3,983	26,712	11,219	1,732	6,078	1,328	28,592	37,931
cam583	6,89	2,623	19,815	2,722	0,579	1,39	0,842	20,631	22,538
cam401	5,19	1,164	7,135	2,184	0,321	1,118	0,187	8,261	9,319
cam402	6,04	0,674	3,117	1,299	0,08	0,25	0,11	5,11	4,416
cam403	6,92	1,054	7,234	2,346	0,204	0,477	0,161	8,56	9,58
cam404	6,86	1,693	11,255	1,896	0,439	1,007	0,251	12,574	13,151
cam406	6,9	2,206	14,849	3,497	0,934	2,364	0,527	16,357	18,346
cam411	6,38	0,882	6,155	1,299	0,077	0,243	0,141	7,044	7,464
cam412	6,88	2,39	14,915	4,198	1,23	2,722	0,686	17,231	19,113
CAM 011	3,63	5,76	35,107	21,038	5,285	14,933	1,41	36,65	56,146
cam 012	4,75	4,147	26,869	7,762	1,42	4,9	1	27,913	34,632