



CARACTÉRISATION DES FRACTIONS GRANULOMÉTRIQUES SUPÉRIEURES - CAFRAGES

Stéphane Belbeze – BRGM
Isabelle Durllet – Antea Group

1^{er} décembre 2022

Contexte et objectifs scientifiques et techniques

Contexte

CAFRAGES est un projet de recherche initié par l'ADEME en juin 2017 pour s'achever en 2021

- Porté par Antea Group
- En partenariat avec le BRGM et le laboratoire WESSLING
- Avec le soutien financier de l'ADEME

Objectifs

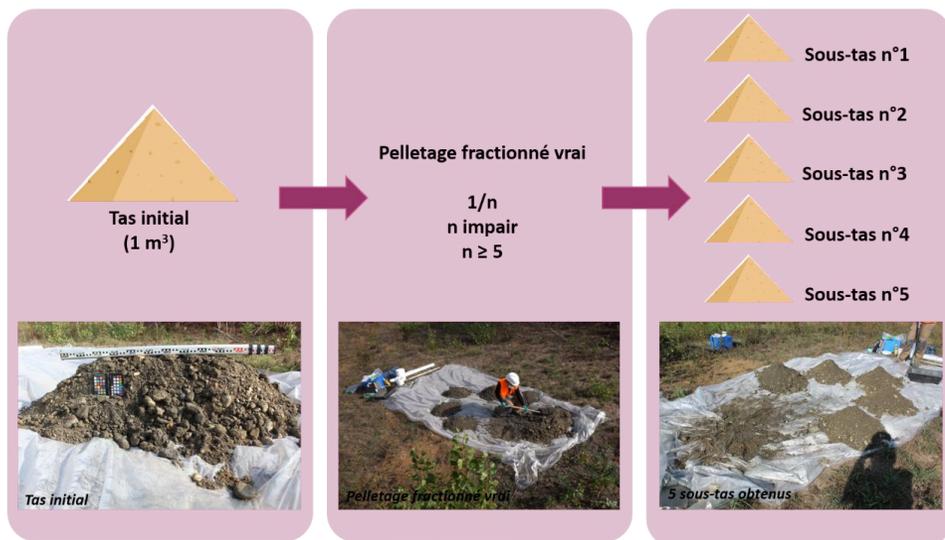
Créer un protocole d'échantillonnage des sols, plus représentatif des fractions granulométriques, pour les polluants non volatils.

- Elaboration des protocoles de prélèvement et d'analyse ;
- Mise en œuvre sur 13 sites pilotes (prétraitement et analyse de 43 échantillons de sol) ;
- Rédaction d'un guide méthodologique, d'un guide technique, d'une vidéo et d'un article scientifique.

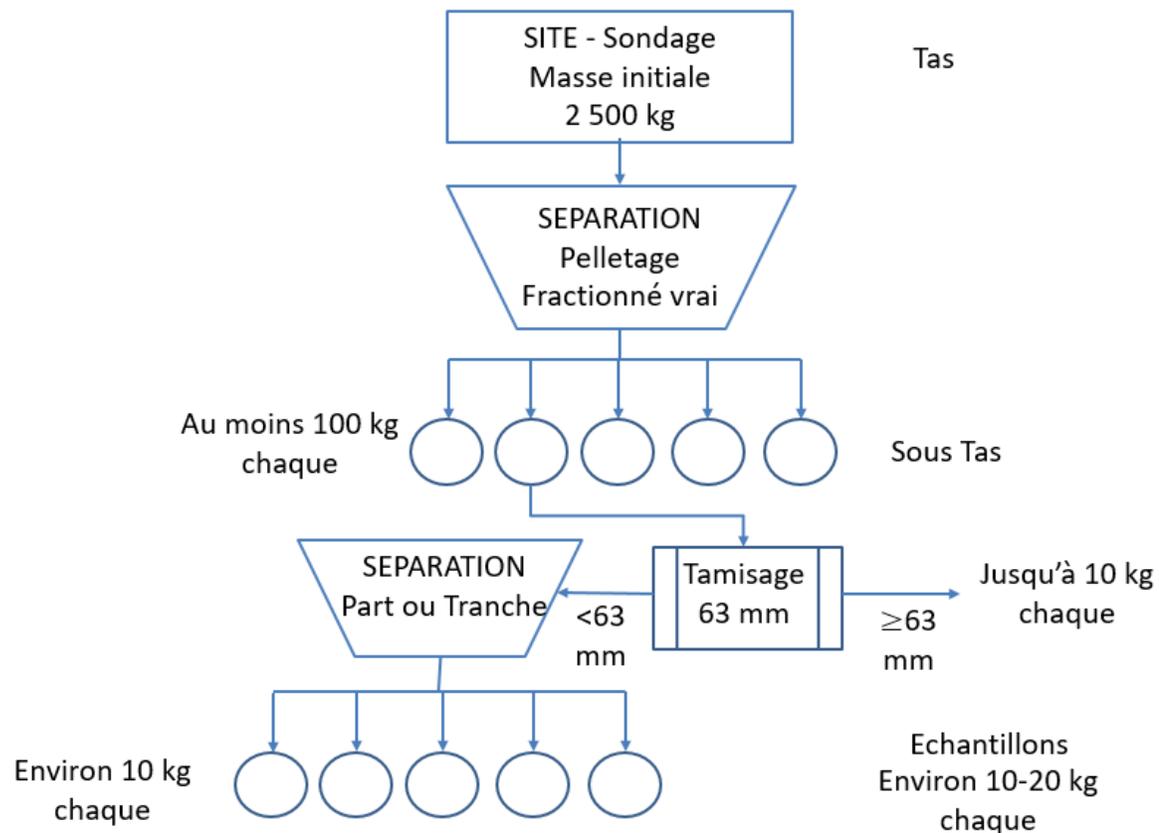
<https://www.youtube.com/watch?v=npS1luHE3As>

CAFRAGES : Protocole de Prélèvement

**OUVERTURE D'UNE
FOUILLE A LA PELLE
MÉCANIQUE**



PELLETAGE FRACTIONNÉ VRAI

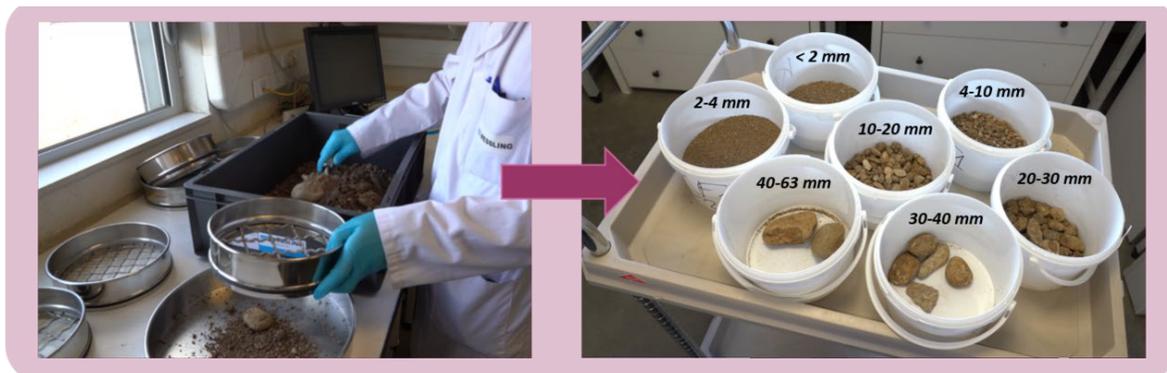


PROTOCOLE DE PRÉLÈVEMENT SUR SITE

CAFRAGES : Protocole de Prélèvement



**ÉCHANTILLONNAGE ET PRÉTRAITEMENT SUR SITE
TAMISAGE À 63 MM**

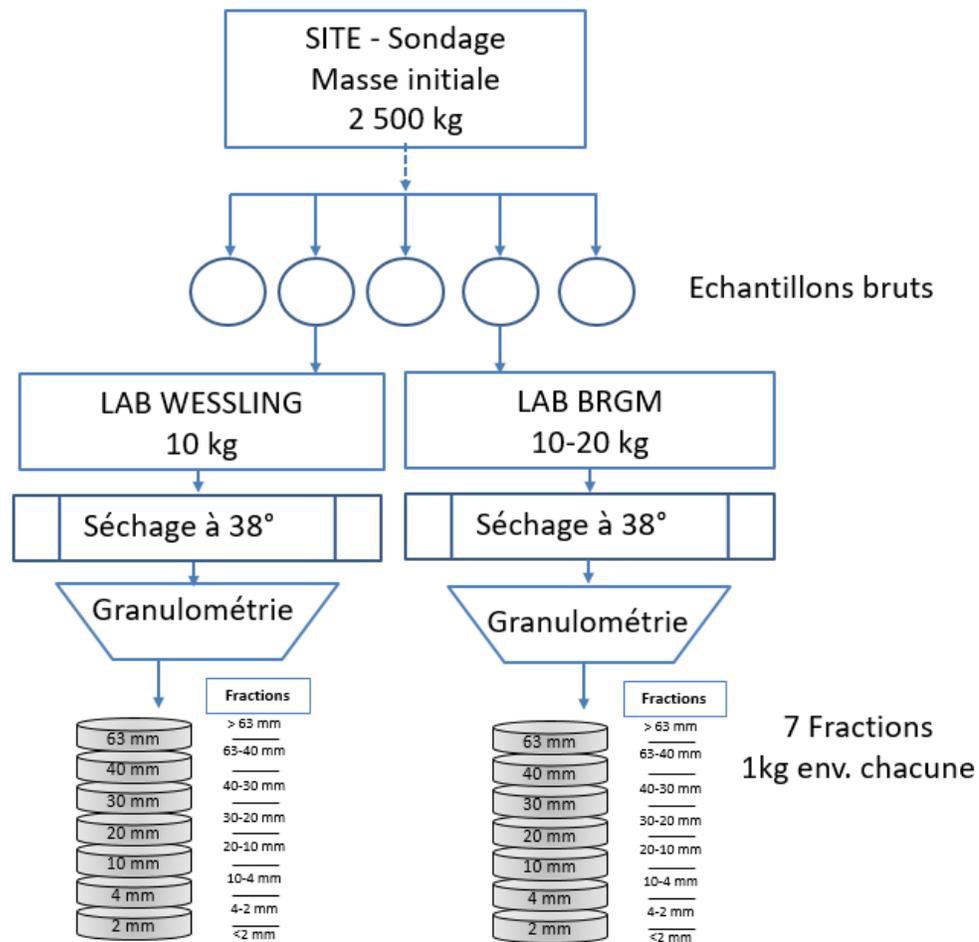


**PRÉTRAITEMENT ET ANALYSES EN LABORATOIRE
TRI GRANULOMÉTRIQUE**

Contrôle de l'efficacité du protocole

- Répétabilité du tamisage,
- Représentativité du pelletage fractionné,
- Répétabilité des concentrations entre sous-tas,
- Effet du broyage,
- Effet du préleveur (essais inter-BE),
- Effet du laboratoire d'analyse (essais inter-labo),
- Effet de la masse d'échantillon,

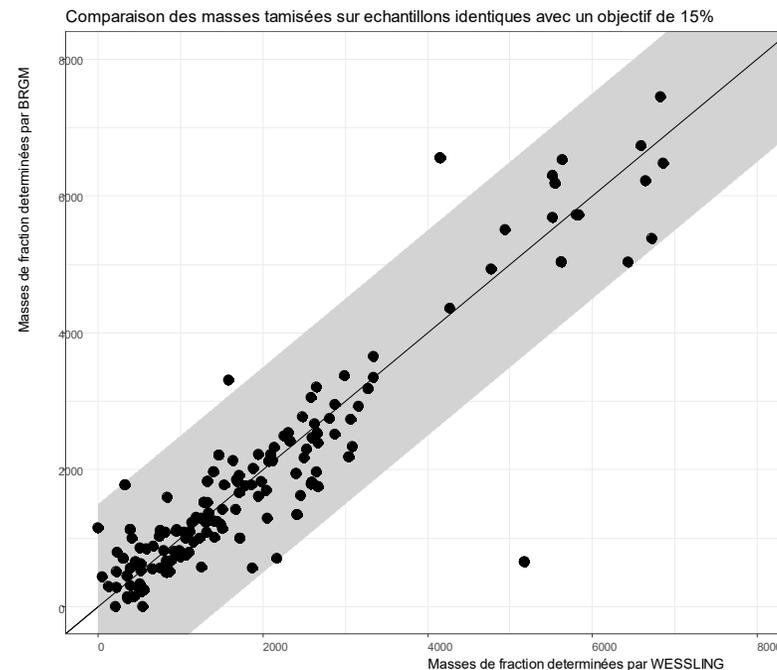
CAFRAGES : Exemple d'un des tests d'efficacité entrepris



PROTOCOLE DE TEST

Représentativité du pelletage fractionné

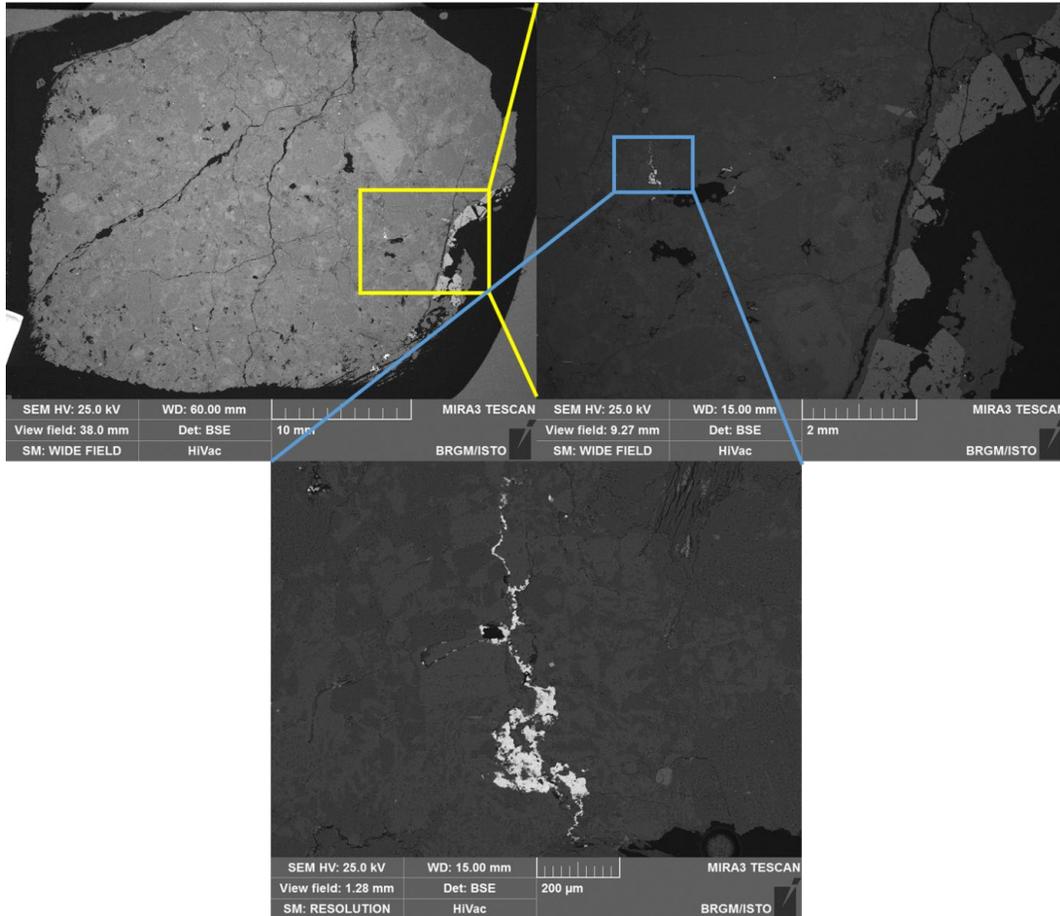
- Les données sont conformes à l'objectif du protocole qui est une erreur relative entre deux paires de dupliquas granulométriques de 15%.



COMPARAISON DES MASSES DE FRACTIONS OBTENUES PAR BRGM ET WESSLING

Stéphane Belbèze et Isabelle Durllet

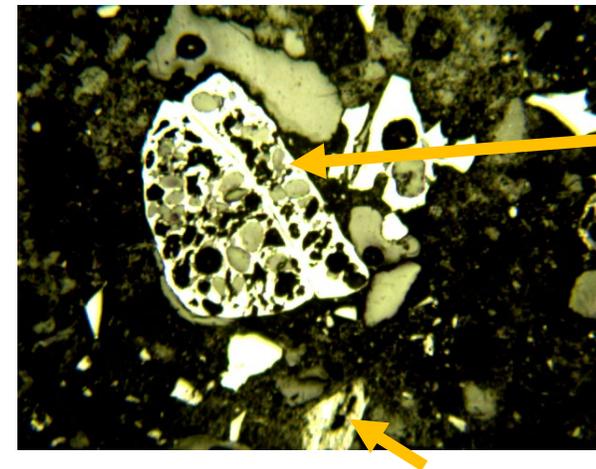
CAFRAGES : Etude des fractions > 63 mm (brique, béton)



PHASE DE SULFATE DE BARYUM ET PLOMB DANS
LES FRACTURE D'UN BETON

Exemple de Microscopie électronique et Raman

- Imprégnation à cœur par des hydrocarbures via son réseau de fissures (type 1 identifié) altérations bactériennes (type 2).
- Certaines phases porteuses de métal se trouvent dans les fractures du béton.



Matériau carboné
type 1

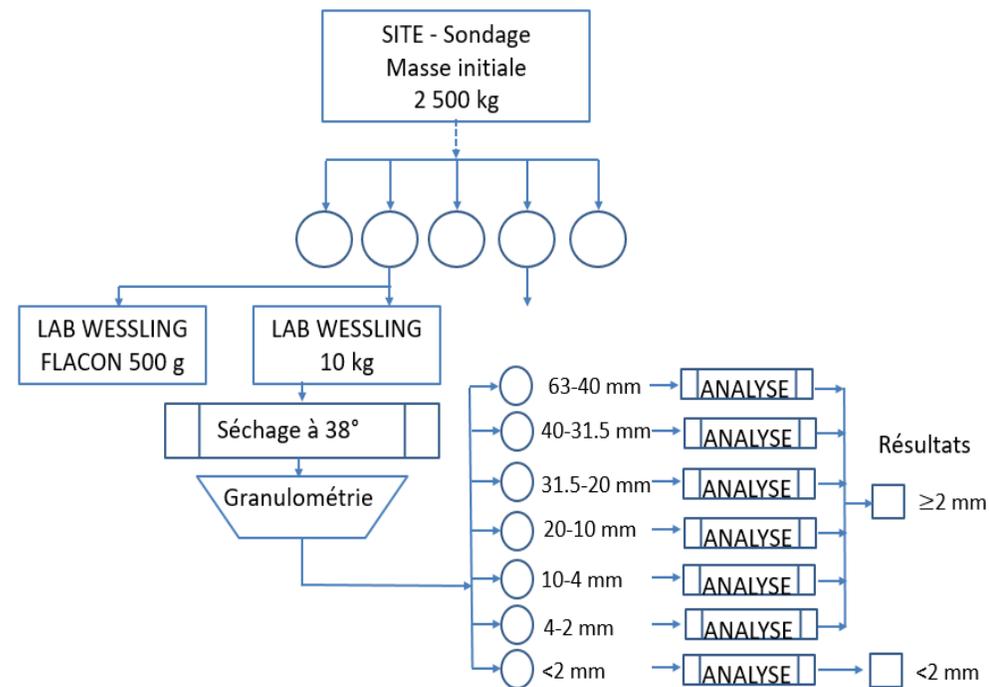
Matériau carboné type 2

HYDROCARBURES DANS FISSURES (TYPE1) ET
D'ORIGINE BACTERIENNE (TYPE2)

CAFRAGES : Rôle de la fraction > 2 mm pour le bilan massique

Type de sol	Polluant	Pollution	Répartition en % %<2mm / %2mm-63mm	Sites concernés
Déchets	C10C40, HAP, PCB	Diffuse	50/50	12102020
	As, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb	Concentrée	50/50	
	Cd		30/70	
Naturel	C10C40	Concentrée	50/50	30032020, 23092020
	HAP, PCB	Concentrée	60/40	
	C10C40, HAP, PCB	Diffuse	50/50	
	As, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Cd	Concentrée	30/70	
Remblais	C10C40	Diffuse	40/60	03032020, 30062019, 09092020, 16092020, 22062020, 28092020
		Concentrée	70/30	
	HAP	Diffuse	60/40	
		Concentrée	60/40	
	PCB	Diffuse	60/40	
		Concentrée	80/20	
	As	Diffuse	40/60	
		Concentrée	75/25	
	Cr	Diffuse	40/60	
		Concentrée	80/20	
	Cu	Diffuse	60/40	
		Concentrée	80/20	
	Hg	Diffuse	50/50	
		Concentrée	60/40	
	Ni	Diffuse	50/50	
		Concentrée	70/30	
Pb	Diffuse	50/50		
	Concentrée	70/30		
Zn	Diffuse	60/40		
	Concentrée	80/20		

- **Représentativité du pelletage fractionné**
- **En masse, il y a globalement autant de polluants dans la fraction < 2mm qu'il n'y en a dans la fraction 2-63 mm. L'affinité polluants/fraction est variable**



PROTOCOLE DU TEST

Etude de cas – Exemple de mise en application du protocole

Le dernier site étudié a permis :

- de caractériser 3 lots de remblais selon le protocole CAFRAGES
- de présenter une étude de cas incluant un bilan coûts/avantages.

Comparaison des deux approches

- Solution proposée initialement : Totalité remblais en ISDND
- Protocole CAFRAGES : Optimisation possible pour le lot 3

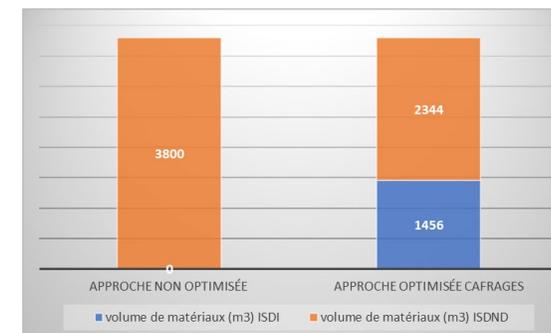
Le cas pratique démontre l'intérêt de caractériser l'ensemble des matériaux

- le postulat selon lequel la fraction fine piège l'essentiel de la pollution n'étant pas toujours vérifié.

FILIÈRES D'ÉVACUATION SELON GRANULOMÉTRIE

Echantillon	Paramètre	< 2mm	2-4 mm	4-10 mm	10-20 mm	20-31,5 mm	31,5-40 mm	40-63 mm	
LOT 1 800 m ³	Filière	ISDND	ISDND	ISDND	ISDND	ISDND	ISDI+	ISDND	
	Paramètres déclassant	Sulfates	Sulfates	Sulfates	Sulfates	Sulfates	Sulfates	Sulfates	Sulfates
		FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS
		Fluorures	Fluorures		Fluorures	Fluorures			
		Sélénium							
	Antimoine								
Granulométrie (%)	47%	13%	18%	12%	6%	2%	2%		
Volume (m ³)	376	104	128	216	48	16	16		
LOT 2 1 400 m ³	Filière	ISDND	ISDND	ISDND	ISDND	ISDI	ISDND	ISDI	
	Paramètre déclassant	Sulfates	Sulfates	Sulfates	Sulfates	-	Sulfates	-	
		FS	FS	FS	FS	-	FS	-	
		Antimoine	Antimoine						
	Granulométrie (%)	53%	11%	16%	9%	7%	2%	2%	
Volume (m ³)	742	154	224	126	98	28	28		
LOT 3 1 600 m ³	Filière	ISDI	ISDI	ISDI	ISDI	ISDI	ISDI	ISDND	
	Paramètre déclassant	-	-	-	-	-	-	Sulfates	
								FS	
	Granulométrie (%)	36%	10%	15%	13%	12%	4%	9%	
Volume (m ³)	576	160	240	208	192	64	144		

COMPARAISON DES DEUX APPROCHES



Conclusions et perspectives

Le protocole CAFRAGES s'applique :

- aux remblais peu profonds ;
- aux composés peu ou pas volatils ;
- pour consolider le bilan massique.

Les résultats d'essais de terrain **démontrent sa fiabilité, sa robustesse et son utilité pour les bilans massiques de pollution.**

- Ce protocole est utile mais ne pourra pas être systématisé (polluants d'intérêt, gammes de teneurs, accessibilité à une pelle mécanique).
- Coté scientifique, tous les résultats confirment la justesse de la théorie de l'échantillonnage.

Ce projet ouvre de nouveaux sujets de recherche pour lever les limites du protocole.