



Sources hydrothermales de Guadeloupe



Etude de la biodiversité des sources hydrothermales de la Guadeloupe

Rapport final

Septembre 2014





Principaux contacts

ASCONIT Consultants

- Estelle Lefrançois estelle.lefrancois@asconit.com 04 99 23 04 83
- Anne Eulin anne.eulin@asconit.com 05 96 63 55 78

Office de l'Eau de la Guadeloupe

- Cédric Vincent cedric.vincent@office-eauguadeloupe.fr
- Pascaline Loricourt pascaline.loricourt@office-eauguadeloupe.fr 05 90 80 99 78

Parc National de la Guadeloupe

- Marie Robert marie.robert@guadeloupe-parcnational.fr 05 90 80 86 47

Irstea

- Michel Coste michel.coste@irstea.fr
michelcoste24@gmail.com

Observatoire volcanologique de la Guadeloupe - Institut physique du globe de Paris

- Céline Dessert dessert@ipgp.fr 01 83 95 74 41

Université des Antilles et de la Guyane

- Olivier Gros olivier.gros@univ-ag.fr 05 90 42 62 43

Sommaire

1. CONTEXTE ET OBJECTIF DE L'ETUDE.....	5
2. LES SOURCES HYDROTHERMALES DE LA GUADELOUPE.....	7
2.1. LES SOURCES DU MASSIF DE LA SOUFRIERE.....	8
2.2. LES SOURCES BLANCHES DE LA SOUFRIERE.....	9
2.3. LES SOURCES DU SECTEUR DE BOUILLANTE.....	10
2.4. LES SOURCES DE LA ZONE NORD DE BASSE-TERRE.....	11
3. PRELEVEMENTS ET OBSERVATIONS DE TERRAIN.....	12
3.1. LES STATIONS DE PRELEVEMENTS.....	12
3.2. LES MESURES DE TERRAIN ET LES PRELEVEMENTS.....	13
4. MATERIEL ET METHODE.....	16
4.1. LES ANALYSES PHYSICOCHIMIQUES.....	16
4.2. L'ANALYSE DU COMPARTIMENT BACTERIEN : BACTERIES, CYANOBACTERIES ET DES ARCHAEA.....	16
4.2.1. Analyse structurale par Microscopie électronique à balayage conventionnelle.....	16
4.2.2. Microscopie électronique à balayage en mode environnemental.....	16
4.2.3. Analyse par dispersion des rayons X (EDX).....	17
4.2.4. Hybridation in situ.....	17
4.2.5. Analyses phylogénétiques.....	17
4.3. LES INVENTAIRES DES DIATOMEES.....	17
4.3.1. Le traitement des échantillons.....	17
4.3.2. Détermination et inventaires diatomiques en microscopie optique.....	18
4.3.3. Observation des échantillons en microscopie électronique.....	19
5. RESULTATS.....	19
5.1. LES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES.....	19
5.1.1. Les valeurs mesurées.....	19
5.1.2. L'analyse des données physico-chimiques.....	22
5.2. L'ANALYSE DU COMPARTIMENT BACTERIEN, BACTERIES, CYANOBACTERIES ET DES ARCHAEA.....	24
5.2.1. Les sources blanches de la Soufrière.....	24
5.2.2. Les cyanobactéries des sources.....	27
5.3. LES INVENTAIRES DES DIATOMEES.....	34
5.3.1. Les taxons nouvellement inventoriés par rapport au programme de mise au point de l'IDA.....	37
5.3.2. Analyse des données diatomées.....	57
5.3.3. Les formes tétratogènes.....	61
6. CONCLUSION.....	62

Liste des tableaux et figures

Tableau 1 : Liste des sources prélevées.....	12
Tableau 2 : Valeurs des paramètres mesurés <i>in situ</i>	14
Tableau 3 : Valeurs des paramètres physico-chimiques mesurés (en ppm).....	20
Tableau 4 : Abondances relatives des taxons nouvellement inventoriés par rapport aux acquisitions effectuées au cours du programme de mise au point de l'IDA.....	35
Tableau 5 : Taxons mieux identifiés sans que leur identité soit totalement validée.....	36
Tableau 6 : Proportion de formes tétratogènes.....	61

Figure 1 : Les 3 grands domaines biologiques	5
Figure 2 : Diatomées du genre <i>Eunotia</i> , valves déformées, prélevées sur la Source du Galion en Juillet 2010 .	6
Figure 3 : La Guadeloupe au sein de l'Arc Antillais (http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/af/CaribbeanIslands.png/790px-CaribbeanIslands.png)	7
Figure 4 : Les 7 complexes volcaniques de la Guadeloupe (OVSG Poster)	8
Figure 5 : Sources échantillonnées dans le Massif de la Soufrière (noms complets et coordonnées géographiques précisés Tableau 1)	9
Figure 6 : dans les sources blanches, le fond est recouvert par une couche épaisse de couleur blanche recouvrant les rochers d'origine volcanique.	10
Figure 7 : Sources échantillonnées dans le secteur de Bouillante	11
Figure 8 : Conditionnement des échantillons en fonction de leur destination	13
Figure 9 : Valeurs des paramètres mesurés <i>in situ</i>	15
Figure 10 : Diagramme de Piper global	21
Figure 11 : Dendrogramme issu de la CAH	22
Figure 12 : Eboulis des valeurs propres de l'ACP	23
Figure 13 : Projection des variables sur le plan de l'ACP	23
Figure 14 : Projection des stations sur le plan de l'ACP	24
Figure 15 : Analyse chimique de la pellicule blanche.	25
Figure 16 : Composition microbienne de la pellicule blanche.	26
Figure 17 : Arbre phylogénétique des archae peuplant les sources hydrothermales de la soufrière	27
Figure 18 : La source du Galion (A) est en partie recouverte par un biofilm bactérien de couleur vert clair (astérisque) et vert foncé (étoile) (B)	28
Figure 19 : Ultrastructure des cyanobactéries du genre <i>Planktolyngbya</i> de la source du Galion	29
Figure 20 : Paroi située à l'aval de la source de la Ravine Roche	29
Figure 21 : Ultrastructure des cyanobactéries de la source de ravine Marchand (A et B) et des Chutes du Carbet (C et D)	30
Figure 22 : Photo prise <i>in situ</i> de l'association cyanobactéries-bactéries sulfo-oxydantes au niveau de la source de Thomas	32
Figure 23 : Analyse du complexe bactérien de la source Thomas.	33
Figure 24 : AKUW Pl. 142 in KOBAYASI, H., M. IDEI, S. MAYAMA, T. NAGUMO & K. OSADA (2006).....	37
Figure 25 : <i>Chamaepinnularia elongata sensu</i> Manguin 1982	40
Figure 26 : Résultat de la CAH réalisée sur les inventaires issus de la campagne 5 du programme de mise au point de l'IDA et de l'étude des sources hydrothermales.....	58
Figure 27 : Représentation graphique des proportions de formes tétratogènes en fonction des valeurs de Chlore (en ppm) mesurées pour chaque source.....	61

1. Contexte et objectif de l'étude

Les sources hydrothermales terrestres et sous-marines sont nombreuses en Guadeloupe du fait de l'activité volcanique et de la nature du massif altéré et fracturé. Trois secteurs géographiques sont concernés par la présence de sources : Le massif de la Soufrière, le secteur géographique de Bouillante et la zone nord de la Basse-Terre (secteur Sainte-Rose et Lamentin). Le fonctionnement de ces différents systèmes hydro-thermo-minéraux sont différents entre eux ainsi que peuvent l'être les sources au sein d'un même système.

La composition chimique des eaux des sources du massif de la Soufrière est régulièrement analysée dans le cadre du suivi de l'activité volcanique de la Soufrière. Certaines sources, parmi les plus fréquentées par la population, font également l'objet d'une surveillance (recherche de *Naegleria fowleri*, responsable de la méningo-encéphalite amibienne primitive) réalisée par l'Institut Pasteur de la Guadeloupe sous convention avec l'Agence Nationale de la Santé. Néanmoins la flore et la faune de ces sources n'ont jamais fait l'objet d'une étude ciblée.

Sans prétendre être exhaustive, cette étude vise à explorer les principaux compartiments constituant le biofilm¹ qui se développe à proximité immédiate des sources, et plus particulièrement les diatomées, les bactéries, les cyanobactéries ainsi que les Archaea² (Figure 1).

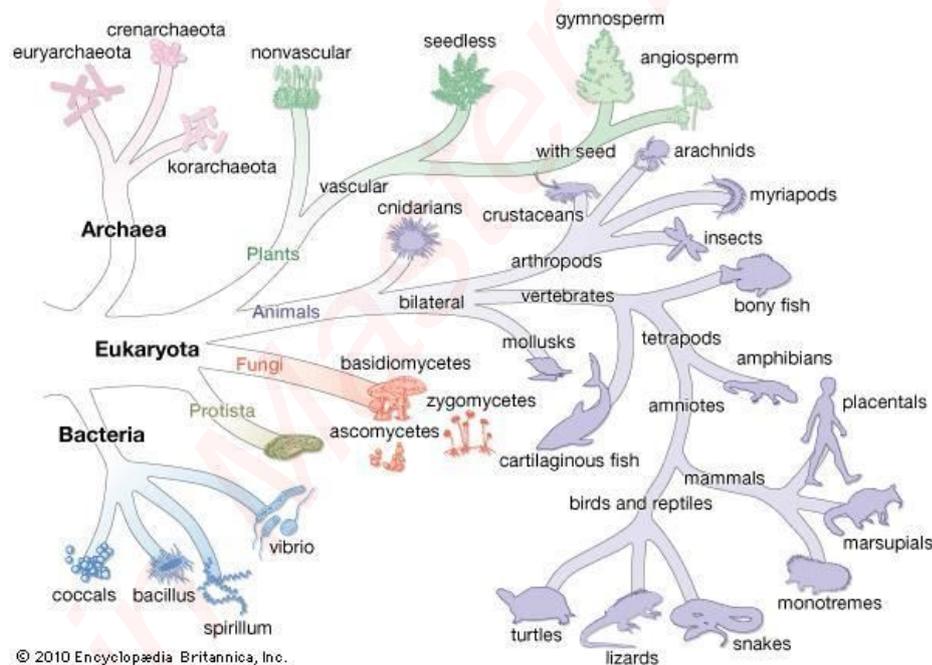


Figure 1 : Les 3 grands domaines biologiques (Art. Encyclopædia Britannica Online. Web. 29 Jul. 2013. <http://global.britannica.com/EBchecked/media/149147/The-tree-of-life-according-to-the-three-domain-system>)

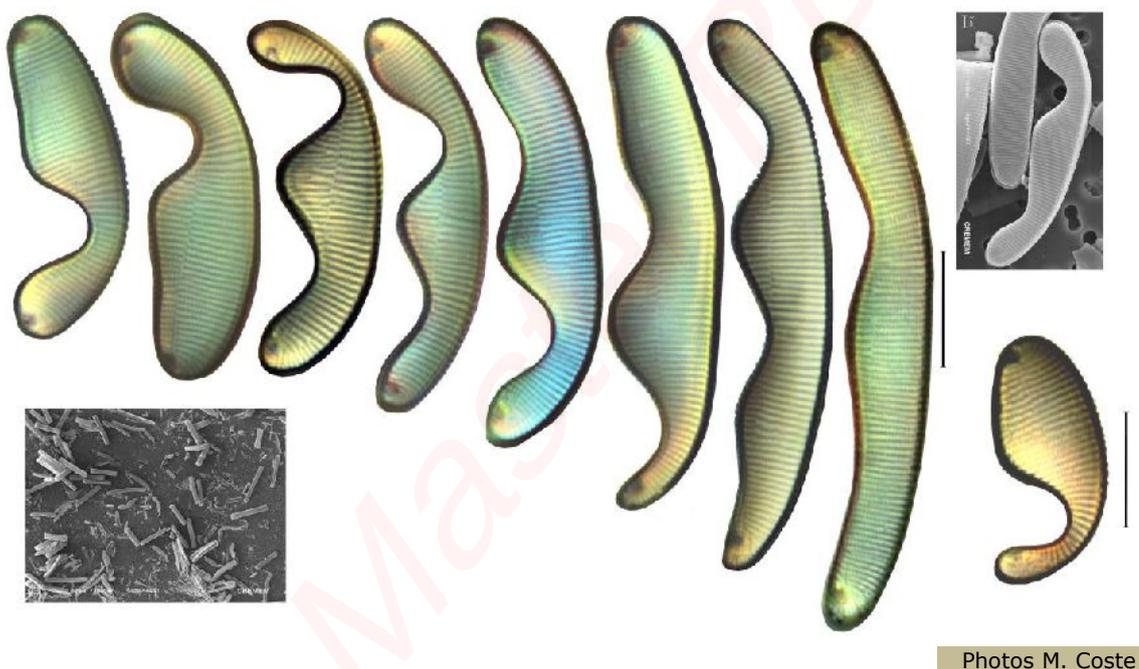
Il est vraisemblable que les températures élevées de certaines sources favorisent les bactéries et les cyanobactéries. La présence et l'abondance de ces dernières sont en effet visibles dans certaines sources comme la Source Tarade. Les bactéries constituent un élément incontournable du biofilm et certaines espèces sont capables de se développer à des températures élevées. L'analyse des

¹ Le biofilm est constitué d'un ensemble complexe de microorganismes eucaryotes (algues dont les diatomées, hyphes mycéliens, protozoaires) et procaryotes (essentiellement bactéries et cyanobactéries) se développant dans une matrice extracellulaire polysaccharidique (EPS), à la surface de tout objet immergé dans un milieu aquatique.

² Organismes procaryotes distincts des bactéries dont certaines espèces peuvent être thermophiles.

procaryotes a été réalisée par des techniques moléculaires permettant de mettre en évidence la présence d'un grand nombre de taxons. Certaines souches ont pu être observées en microscopie électronique à balayage (MEB).

Les diatomées benthiques sont des algues microscopiques, unicellulaires appartenant aux Chromophytes (algues brunes). Ces algues sont considérées comme un des bio-indicateurs des eaux courantes les plus pertinents, grâce notamment à leur sensibilité aux conditions du milieu et à la rapidité de leur cycle de développement (de quelques heures à quelques jours). Les diatomées seront certainement moins abondantes que les bactéries et cyanobactéries au sein des biofilms échantillonnés et les peuplements diatomiques moins diversifiés du fait des conditions extrêmes parfois observées (température élevée, pH très acide). Cependant une étude préliminaire a montré la présence de diatomées et a même souligné l'intérêt de ce compartiment connu pour l'apparition de déformation du squelette siliceux en présence d'éléments toxiques comme les métaux (Figure 2).



Photos M. Coste

Figure 2 : Diatomées du genre *Eunotia*, valves déformées, prélevées sur la Source du Galion en Juillet 2010

C'est pourquoi, nous nous sommes attachés à rechercher d'éventuelles formes anormales comme celles observées sur un échantillon prélevé Source du Galion en Juillet 2010. Nous avons recherché une éventuelle corrélation entre l'abondance de ces formes anormales et la présence ainsi que l'abondance de certains métaux, dissous ou présents sous forme solide dans l'eau et les sédiments prélevés dans les sources.

Les quantités de métaux présents directement au sein du frustule des diatomées devaient être mesurées mais le protocole expérimental mis en œuvre n'a pas permis d'aboutir. Il a été impossible de séparer les sédiments métalliques trappés par le biofilm des diatomées. Il conviendrait de renouveler les essais à partir d'échantillons préparés en vue de l'observation en microscopie (débarassés de toute matière organique).

L'inventaire des diatomées se fera en microscopie optique (grossissement x1000) et électronique à balayage.

Enfin, les sources blanches qui confluent pour former une ravine blanche dès l'amont de la source du Galion ont été étudiées. Ces sources se caractérisent par un dépôt blanc homogène et d'aspect minéral. Celui-ci a été échantillonné dans le but de déterminer sa nature exacte.

Cette première étude de la biologie des sources hydrothermales de la Guadeloupe nous a permis de découvrir quels sont les compartiments effectivement représentés, quels sont les plus diversifiés. Des taxons rares, nouveaux pour la Guadeloupe, ont été inventoriés et illustrés. Nos résultats montrent que les conditions de mise en œuvre de l'Indice Diatomique Antilles doivent tenir compte des influences des sources hydrothermales.

2. Les sources hydrothermales de la Guadeloupe

L'île de la Guadeloupe fait partie d'un ensemble d'îles volcaniques formant l'arc antillais (Figure 3).

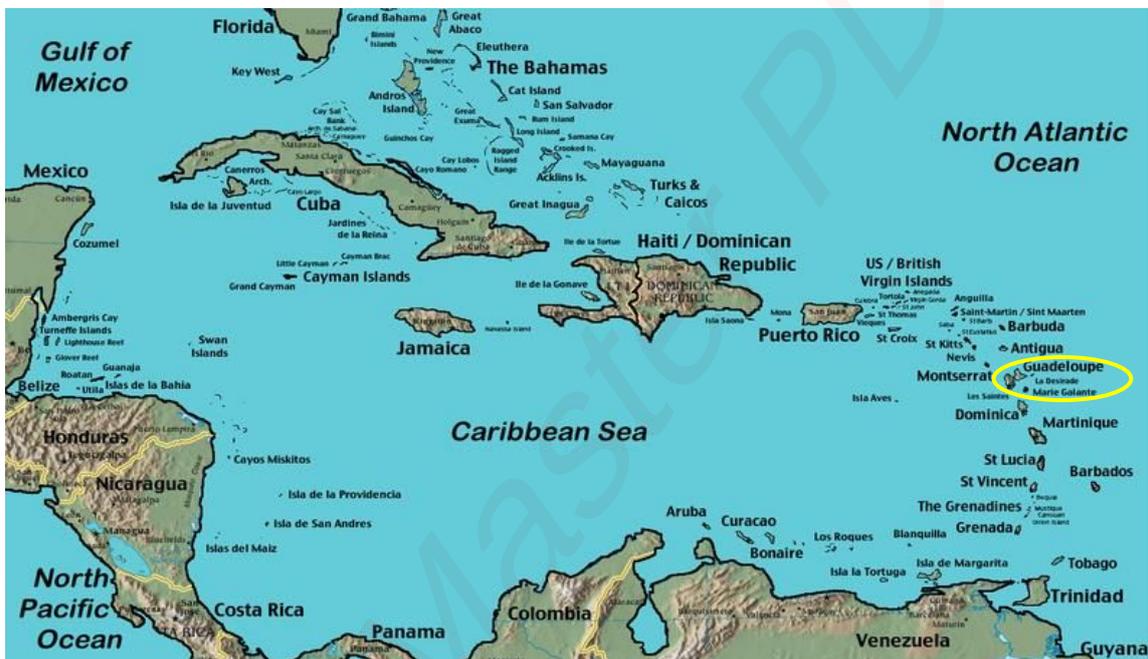


Figure 3 : La Guadeloupe au sein de l'Arc Antillais

(<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/af/CaribbeanIslands.png/790px-CaribbeanIslands.png>)

Cet arc insulaire, constitué de nombreux volcans, est issu de la subduction de la plaque Amérique sous la plaque Caraïbe (BRGM 2007). Ce phénomène a débuté il y a 50 à 20 millions d'années mais l'apparition de la Basse-Terre de la Guadeloupe ne date que d'environ 3 millions d'années (Komorowski J-C. et al. 2005)

Les sources hydrothermales de la Guadeloupe se répartissent en 3 zones géographiques distinctes mais elles correspondent en fait à 7 complexes volcaniques qui se sont échelonnés dans le temps (Figure 4).

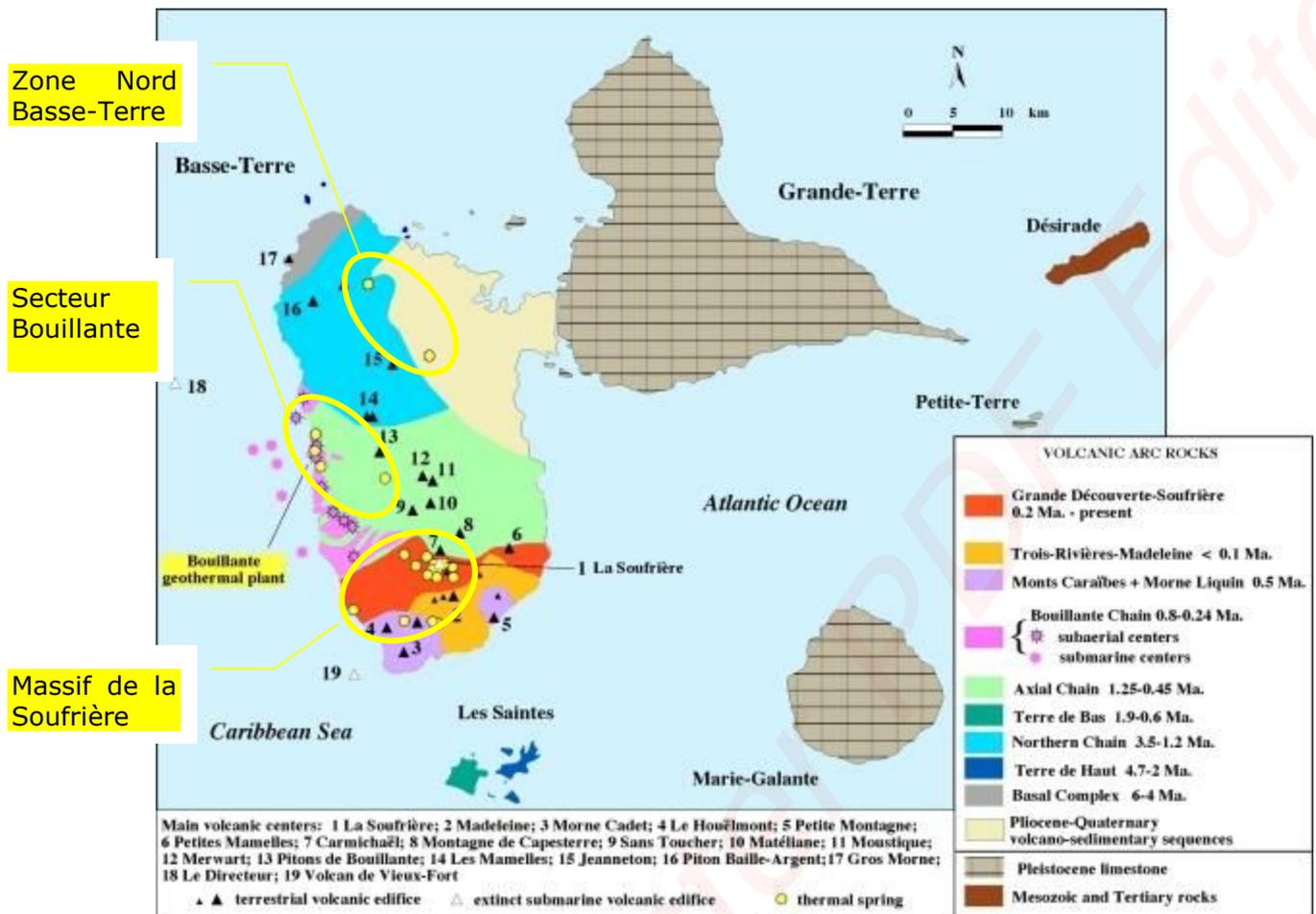


Figure 4 : Les 7 complexes volcaniques de la Guadeloupe (OVSG Poster)

2.1. Les sources du Massif de la Soufrière

L'eau des sources du massif de la Soufrière provient de l'eau météorique qui s'infiltre dans les roches pyroclastiques (matériaux produits lors des éruptions volcaniques explosives). Elle est réchauffée par conduction à travers les roches volcaniques et/ou par convection par les gaz magmatiques ascendants. Dans ce cas, les eaux se chargent également en éléments minéraux (essentiellement silice, sulfates, calcium). Cette eau s'évacue du massif par vaporisation sous forme de fumerolles au sommet du dôme ou sous forme de sources hydrothermales à l'aval. On distingue 3 grands types de sources dans le secteur de la Soufrière en fonction de leur localisation et des mécanismes responsables de leur thermalité et de leur minéralité (BRGM 2007) :

- Sources de la zone centrale du massif : Les eaux des aquifères superficiels sont sulfatées calciques du fait de l'absorption des vapeurs produites par les fumerolles :
 - Galion
 - Source Carbet-Echelle (non échantillonnée)
 - Source Piton Tarade
 - Ravine Marchand
 - Pas du Roy (non échantillonnée)
 - Bains Jaunes
 - Matouba Eaux vives
- Sources de la zone périphérique du massif, dont les eaux sont réchauffées par conduction :

- Habitation Revel
- Sources de la zone périphérique, dont les eaux sont réchauffées par conduction mais aussi par convection (apport de chaleur par les gaz magmatiques) :
 - Grosse Corde
 - Chute du Carbet
 - Capes et Dolé (non échantillonnée)

La carte ci-dessous illustre la localisation des sources du Massif de la Soufrière (Figure 5).

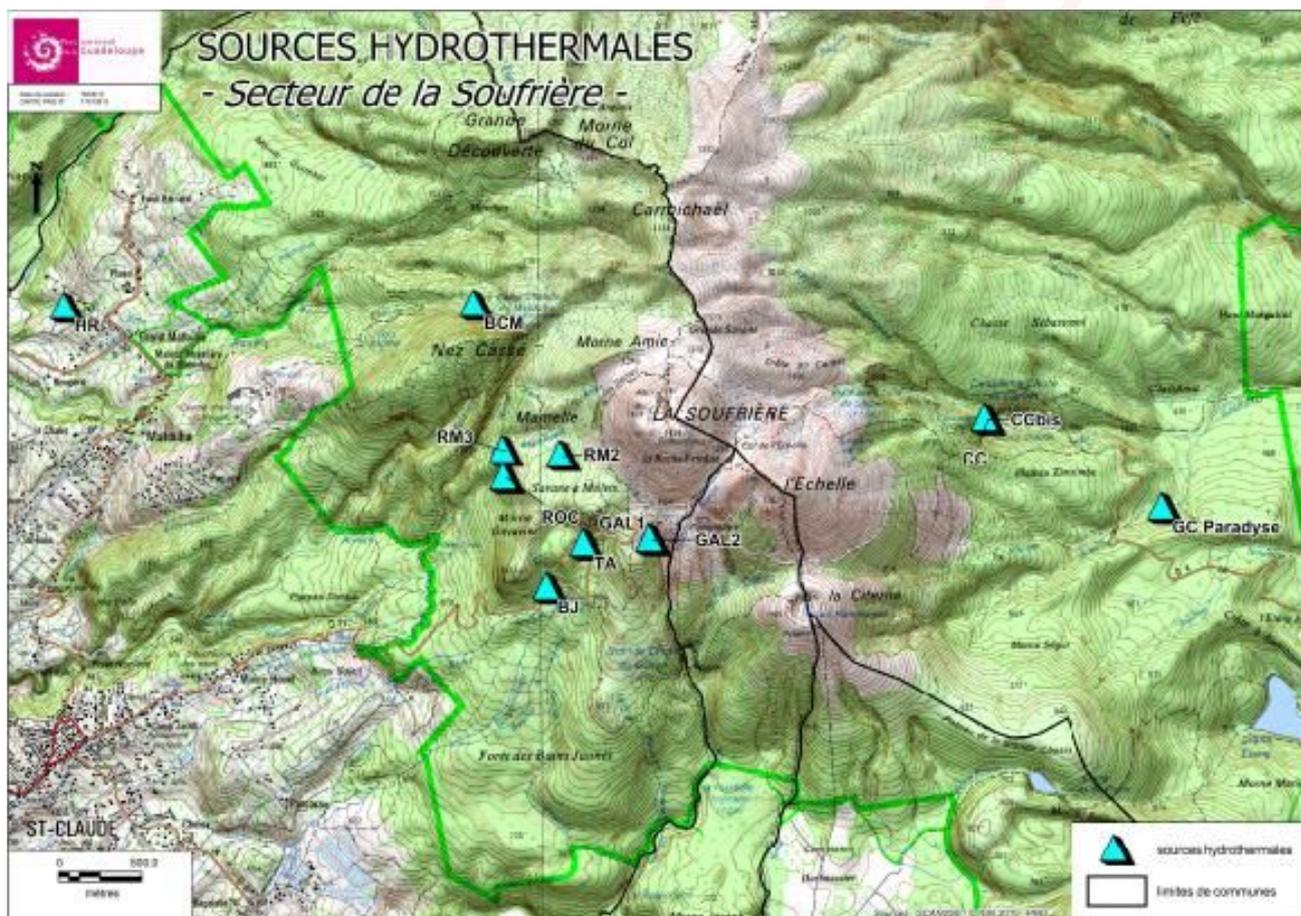


Figure 5 : Sources échantillonnées dans le Massif de la Soufrière (noms complets et coordonnées géographiques précisés Tableau 1)

2.2. Les sources blanches de la Soufrière

Sur les flancs de la soufrière, il existe des sources confluent pour former une ravine dont le lit est de couleur blanche (Figure 6). Cette couleur est due au dépôt d'une pellicule épaisse. Le but des analyses entreprises était de savoir s'il s'agissait de dépôts minéraux (si oui de quel type) et s'il y avait une flore microbienne particulière associée à ce type de dépôt.



Figure 6 : dans les sources blanches, le fond est recouvert par une couche épaisse de couleur blanche recouvrant les rochers d'origine volcanique.

2.3. Les sources du secteur de Bouillante

Vingt-et-une sources sont recensées par le BRGM dans le secteur de Bouillante (BRGM 2007) dont certaines sont marines. Seules quelques-unes ont été échantillonnées :

- Source Lise
- Source Bains du curé
- Source Bouillante amont
- Source Anse Thomas

Le système géothermal du secteur de Bouillante est distinct de celui de la Soufrière. Ce système est composé par 2 grands ensembles géologiques qui lui confèrent ses caractéristiques principales et qui hébergent 2 aquifères qui ne communiquent pas entre eux :

- l'un superficiel alimenté par les eaux météoriques simplement réchauffées par conduction (Sources Lise, Bains du curé, Bouillante amont),
- l'autre dit géothermal, alimenté par un mélange d'eaux météorique et marine qui se réchauffent et se chargent en minéraux par des interactions eau/roche à 250°C (Source Thomas).

La carte ci-dessous illustre la localisation des sources du secteur de Bouillante (Figure 7).



Figure 7 : Sources échantillonnées dans le secteur de Bouillante

2.4. Les sources de la zone Nord de Basse-Terre

Il existe 2 sources hydrothermales dans le nord de la Basse-Terre qui n'ont pas été échantillonnées :

- Source Sofaïa (secteur Sainte-Rose), seule manifestation du système hydrothermal sous-jacent. Des études préliminaires ont permis de conclure à la quasi-absence d'éléments biologiques intéressants du fait de l'aménagement et de la fréquentation des sources.
- Source Ravine-Chaude, elle est aussi la seule source de la région du Lamentin. Elle est également aménagée et actuellement inaccessible.

3. Prélèvements et observations de terrain

3.1. Les stations de prélèvements

Les stations de prélèvement ont été choisies conjointement avec l'OVSG-IPGP qui visite la plupart d'entre elles mensuellement pour y pratiquer des prélèvements d'eau. Elles ont été citées au chapitre précédent et reprises dans le Tableau 1 ci-dessous qui fait état des dates de prélèvement, des coordonnées géographiques relevées et des codes station utilisés.

Tableau 1 : Liste des sources prélevées

Secteur géographique	Cours d'eau	Station	n° échantillon Asconit	Commune	Date	Heure	Coordonnées (WGS84)		Altitude (m)
							X (longitude)	Y (latitude)	
Massif de la Soufrière	Ravine Marchand	RM3	20131522	Saint Claude	04/07/2013	10h10	1774060	642014	N.C.
	Ravine Marchand	RM2	20131523	Saint Claude	04/07/2013	11h00	1774031	642357	934
	Source Tarade	TA	20131524	Saint Claude	04/07/2013	13h45	1773502	642497	N.C.
	Source du Galion	GAL 1	20131525	Saint Claude	05/07/2013	9h15	1773529	642892	985
	Source du Galion	GAL 2	20131526	Saint Claude	05/07/2013	9h30	1773529	642892	985
	Ravine Roche	ROC	20131527	Saint Claude	05/07/2013	12h30	1773895	642020	914
	Bains chauds du Matouba	BCM BASSIN	20131528	Saint Claude	10/07/2013	10h15	1774938	641841	982
	Habitation Revel	HR	20131529	Saint Claude	10/07/2013	12h15	1774923	639384	593
	Bains Jaunes	BJ	20131530	Saint Claude	10/07/2013	13h15	1773247	642277	993
	Chute du Carbet	CC	20131531	Capesterre BE	11/07/2013	13h15	1774250	644892	604
	Chute du Carbet	CCBIS	20131532	Capesterre BE	11/07/2013	13h00	1774250	644892	604
	Cascade Paradise	GC Paradise	20131533	Capesterre BE	11/07/2013	14h45	1773716	645960	549
Secteur Bouillante	Source Lise	LIS	20131534	Malendure	07/07/2013	11h00	1786961	631258	5
	Source Bouillante amont	BOU	20131535	Bouillante	07/07/2013	13h	1784125	632028	49
	Source Anse Thomas	THO	20131536	Bouillante	07/07/2013	15h00	1781496	631094	0
	Source Bains du curé	BDC	20131537	Pigeon	07/07/2013	11h30	1785664	630933	1
	Rejet usine Bouillante	RUB	20131538	Bouillante	12/07/2013	10h30	1783483	630933	0

Toutes les sources ont été échantillonnées au cours d'une campagne unique qui a eu lieu du 04 au 12 Juillet 2013. Les sources du Massif de la Soufrière ont été prélevées par une équipe constituée de :

- Céline Dessert (OVSG-IPG)
- Olivier Crispi (OVSG-IPG)
- Estelle Lefrançois (Asconit)
- Michel Coste (Irstea)
- Olivier Gros (UAG) a participé aux prélèvements réalisés sur la Source du Galion et la Ravine Roche le 05 Juillet 2013.

Les sources du secteur de Bouillante ont été prélevées par Estelle Lefrançois et Michel Coste.

3.2. Les mesures de terrain et les prélèvements

A l'échelle de chaque source, l'eau a été prélevée au plus près de l'émergence de la source, tandis que les prélèvements biologiques ont été réalisés à différents endroits afin de refléter la diversité des biofilms observés macroscopiquement. Lorsque plusieurs griffons étaient présents et que les conditions environnementales semblaient varier de l'un à l'autre, plusieurs prélèvements ont été réalisés et ils ont été traités séparément.

Tous les échantillons sont issus d'un même prélèvement ou de plusieurs prélèvements effectués exactement au même endroit et au même moment. Seule l'Anse Thomas a été prélevée de manière différée en ce qui concerne le compartiment bactérien, ce qui ne porte pas à conséquence puisque l'analyse des éléments dissous de l'eau est impossible pour cette station où l'eau est salée (mélange eau de mer + eau de la source elle-même provenant d'infiltration d'eau de mer)

La Figure 8 ci-dessous résume le conditionnement des prélèvements en fonction de leur destination.

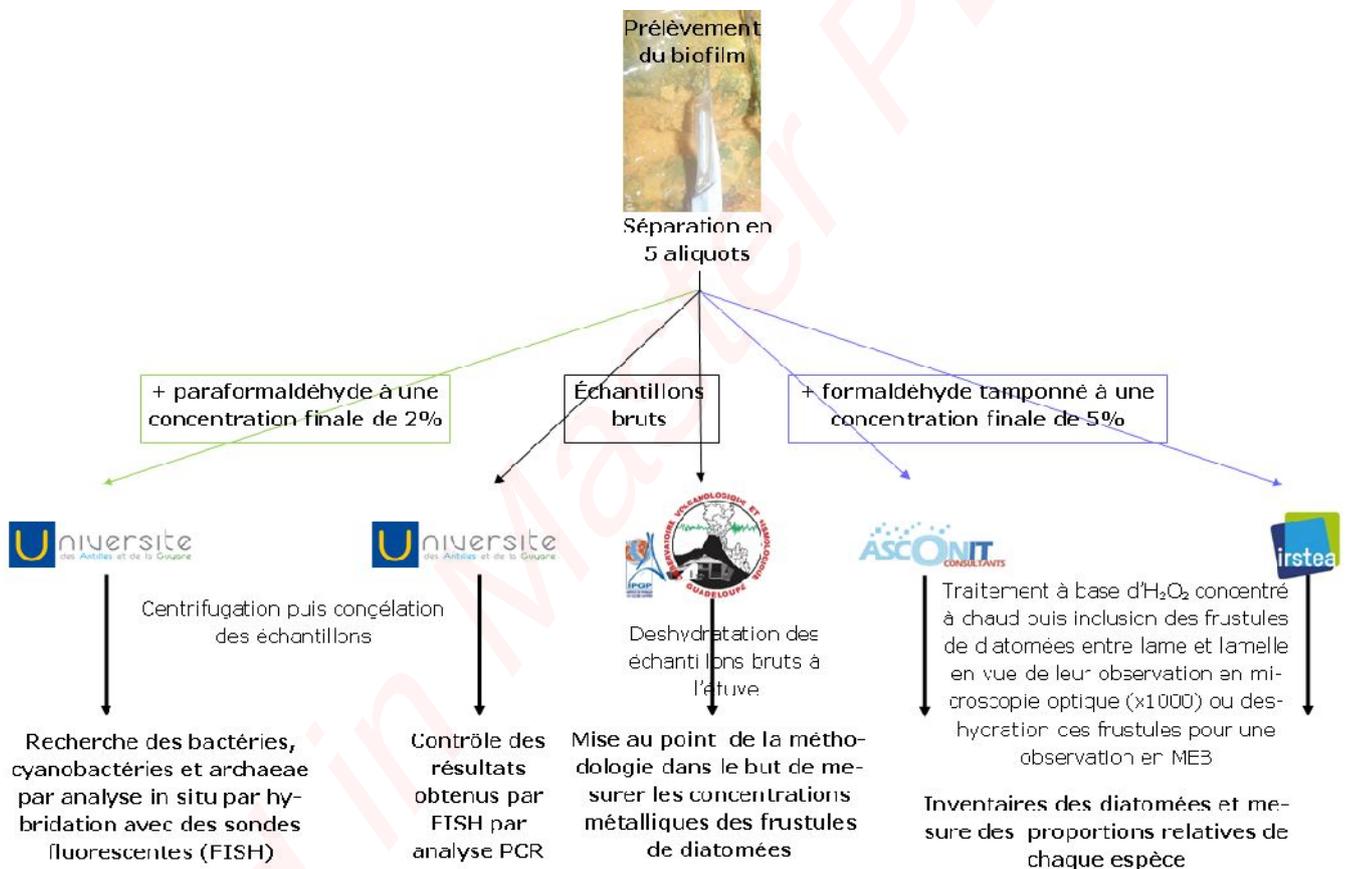


Figure 8 : Conditionnement des échantillons en fonction de leur destination

Chaque station a fait l'objet :

- de mesures des paramètres physico-chimiques *in situ* (température, pH, conductivité, parfois teneur en oxygène dissous et saturation en oxygène) à l'aide d'un matériel portable de type multiparamètres WTW (Les résultats sont consignés dans le Tableau 2 et illustrés par la Figure 9),
- de prélèvements de matériel biologique comme indiqués ci-dessus,

- de prélèvement d'eau filtrée sur place dans le but de mesurer au laboratoire les concentrations en carbone organique total ainsi qu'en éléments majeurs et traces dissous,
- de prélèvement de sédiments dans le but de mesurer au laboratoire les éléments majeurs et traces solides,
- de mesure de débit de la source lorsque celle-ci n'est pas équipée pour des mesures automatiques.

Enfin, pour chacune d'entre elle, les coordonnées GPS ont été relevées, des photographies du site et plus précisément des zones de prélèvement ont été prises. Ces informations ont été récapitulées dans des « fiches station » consignées en annexe 1.

Tableau 2 : Valeurs des paramètres mesurés *in situ*

Secteur géographique	Cours d'eau	Station	PHYSICO-CHIMIE - MESURES DE TERRAIN				
			Température de l'eau (°C)	pH	Conductivité (µS/cm)	Oxygène	
						mg/L	%
Massif de la Soufrière	Ravine Marchand	RM3	44,5	5,35	1666		
	Ravine Marchand	RM2	21,4	3,4	560		
	Source Tarade	TA	40,4	5,88	2130		
	Source du Galion	GA	46,3	4,8	2970		
	Source du Galion	RUISSELLEMENT GA	27,7	3,7	1383		
	Ravine Roche	ROC	32,1	7,44	958		
	Bains chauds du Matouba	BCM BASSIN	32,5	6,45	734		
	Habitation Revel	HR	31,5	6,53	280		
	Bains Jaunes	BJ	29,1	5,66	710		
	Chute du Carbet	CC	43,5	6,66	1217		
	Chute du Carbet	CCBIS	~32				
Cascade Paradyse	GC Paradyse	30,5	7,22	878			
Secteur Bouillante	Source Lise	LIS	33,9	7,29	324	3,97	50,62
	Source Bouillante amont	BOU	30,1	7,1	496	5,07	67,2
	Source Anse Thomas	THO	40	7,22	>4000		
	Source Bains du curé	BDC					
	Rejet usine Bouillante	RUB	>38				

*NB : Les sources dont le débit est minime et qui s'écoulent le long des parois n'ont pas fait l'objet d'analyses *in situ*. De même l'oxygénation de l'eau étant forcément réduit à ces températures, la quantité d'oxygène dissous n'a pas été mesuré.*

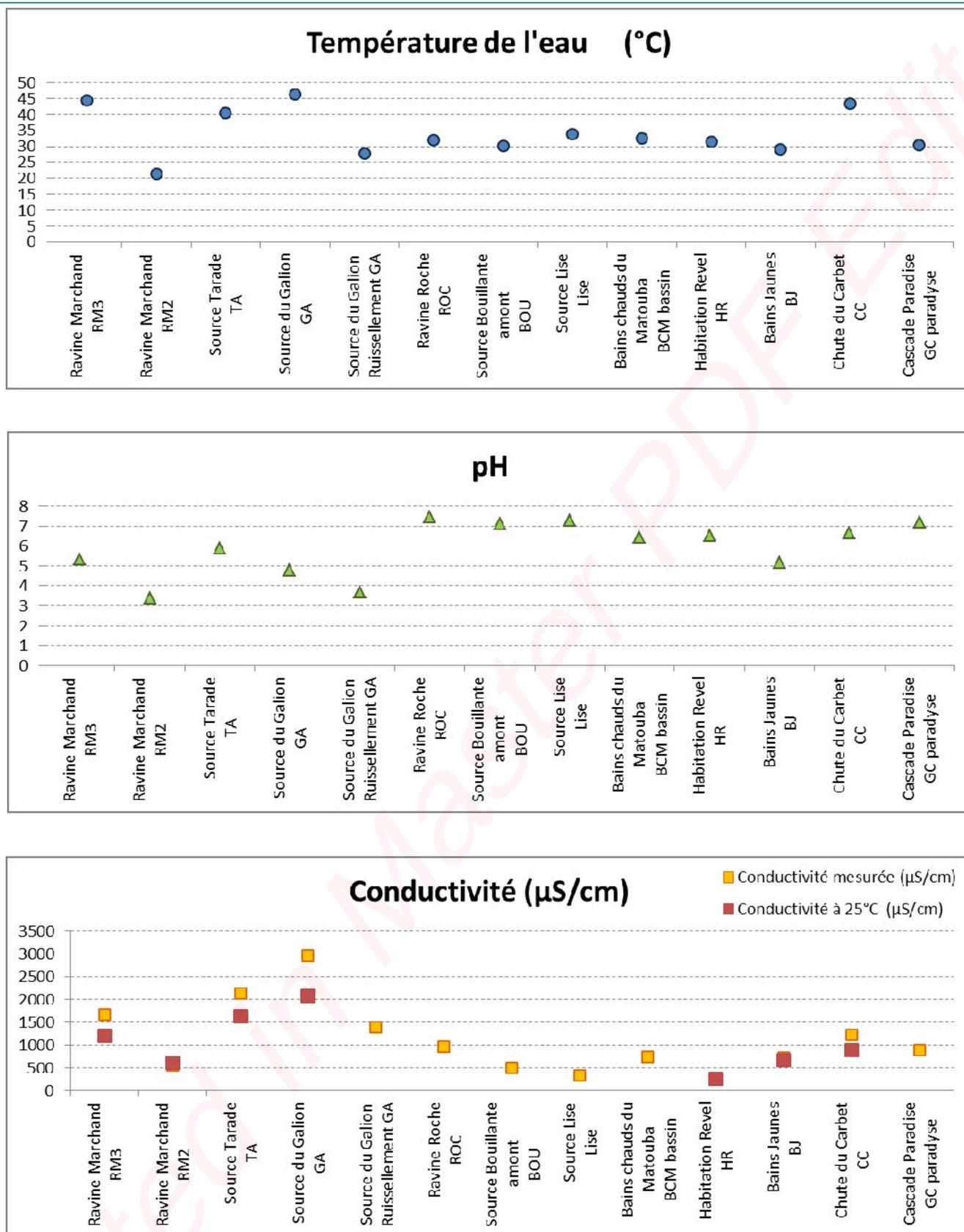


Figure 9 : Valeurs des paramètres mesurés *in situ*

Les sources Ravine Marchand (RM3), Galion, Tarade et Carbet se caractérisent par une température comprise entre 4 et 50°C alors que les autres sources affichent une température comprise entre 25 et 35°C.

Les sources Ravine Marchand (RM3), Galion, Tarade et Bains Jaunes sont acides (pH<6). Les autres sources ont un pH mesuré plus neutre (entre 6 et 8).

Les valeurs de conductivité mesurées sont globalement élevées pour la Guadeloupe et vont de 280 μ S/cm (Habitation Revel) et 2970 μ S/cm (Source du Galion)

4. Matériel et Méthode

4.1. Les analyses physicochimiques

Plusieurs méthodes d'analyse ont été mises en œuvre selon les éléments mesurés.

Les teneurs en anions (F, Br, Cl, SO₄) et cations (Na, K, Mg Ca) ont été déterminées à l'OVSG sur un appareil de chromatographie ionique Dionex DX120.

Les teneurs en bicarbonates ont été déterminées à l'OVSG par titration acido-basique grâce à un tritrateur automatique (Radiometer TIM840).

Pour la détermination des teneurs en silice dissoute (SiO₂), la méthode classique de colorimétrie est utilisée (à l'IPGP) avec un détecteur Dionex UVD170U. Cette méthode permet de doser la silice « réactive », soit uniquement la portion qui réagit avec le molybdate que l'on a préalablement ajouté dans l'échantillon d'eau à analyser. L'échantillon se colore et l'intensité de la coloration est directement proportionnelle à la concentration en silice.

Enfin, les teneurs en métaux et en éléments en trace ont été déterminées à Paris par ICP-AES (spectromètre d'émission atomique) et par ICP-MS (spectromètre de masse à plasma).

4.2. L'analyse du compartiment bactérien : bactéries, cyanobactéries et des Archaea

Des prélèvements de la « pellicule épaisse » ont été effectués sur le terrain et préparés pour des analyses en microscopie électronique avec analyse des composés minéraux (analyses EDX), des hybridations à l'aide de sondes oligonucléotidiques (technique FISH) et pour l'extraction d'ADN afin de caractériser les germes présents.

4.2.1. *Analyse structurale par Microscopie électronique à balayage conventionnelle*

Cette analyse concerne les échantillons de cette « pellicule blanche » prélevée dans les sources blanches de la Soufrière. Ils ont été fixés sur le terrain en glutaraldéhyde à 2,5% dans l'eau de la source afin de respecter l'osmolarité et le pH du milieu. Les échantillons ont été conservés dans cette solution de fixation à 4°C plusieurs jours jusqu'à la préparation des échantillons. Après deux rinçages à l'eau distillée, les échantillons ont été déshydratés progressivement dans des bains d'acétone croissants de 10 min (30°, 50°, 70°, 95°) jusqu'à l'acétone 100°. Les échantillons ont ensuite été traités au point critique du dioxyde de carbone (CO₂) qui est atteint à une température de 32°C pour une pression de 72 bars (EM CPD300, Leica). Les échantillons ont ensuite été déposés sur des « porte-échantillons » recouverts de scotch carbone puis métallisés à l'or (Sputter Coater SC500, Biorad) avant observation au microscope électronique à balayage (Quanta 250, FEI) sous une tension d'accélération de 20Kv.

4.2.2. *Microscopie électronique à balayage en mode environnemental*

Les échantillons destinés au MEB en mode environnemental (Quanta 250, FEI) ont été rapidement rincés à l'eau distillée (afin que les sels présents ne soient pas visibles au microscope lors de

l'évaporation de l'eau pendant l'observation) et placés sur les porte-échantillons. Les échantillons ont été observés à une tension d'accélération de 10Kv, à une pression de 7 Tors et une température de 5°C avec un taux d'humidité de l'ordre de 70%.

4.2.3. Analyse par dispersion des rayons X (EDX)

Les échantillons nécessitant une analyse E.D.X. ont été préparés comme pour le MEB en mode environnemental. L'analyse a été effectuée grâce à un détecteur EDAX doté d'une sonde de 30mm².

4.2.4. Hybridation *in situ*

Les échantillons destinés à l'hybridation *in situ* ont tous été fixés dans une solution de paraformaldehyde PFA à 2% dans l'eau des sources pendant une durée de une à deux heures, à 4°C. Ils ont ensuite été rincés trois fois à l'eau de source puis déshydratés par des bains d'éthanol successifs (30°, 50°, 70°, 95°) de 10 min jusqu'à l'éthanol 100°. Les échantillons ont ensuite été lavés dans un grand volume d'éthanol 100° plusieurs fois et filtré sur un filtre GTTP de 0,22µm. Ces échantillons ont ensuite été traités par la technique de FISH.

Pour cela, les échantillons ont été réhydratés par des bains successifs d'éthanol de concentration décroissante (95°, 70°, 50°, 30°) jusqu'à l'eau distillée. Des bains successifs ont ensuite été réalisés afin de perméabiliser les membranes cellulaires des échantillons. Un premier bain de 12 minutes de HCl 0,2 M (température ambiante), un bain de 10 min de tampon Tris HCl (20 mM à température ambiante), puis un bain de 5 min de Protéinase K (0,5 µg/mL en tampon Tris-HCl 20 mM à 37°C) ont été réalisés avant le dépôt des sondes sur les échantillons (3 ng/µL de tampon d'hybridation (NaCl à 0,9 M, Tris HCl 0,02 M à pH 7,8, 0,01% de SDS, et 35% formamide dans de l'eau ultrapure). L'hybridation a lieu en chambre humide à 56°C pendant 3 heures. Deux rinçages de 15 min avec un tampon de lavage (NaCl à 0,22 M, tampon Tris HCl 0,02 M à pH 7,8, 0,005 M EDTA, et 0,01% de SDS dans de l'eau ultrapure), ont été réalisés à la fin de l'hybridation afin d'éliminer les sondes n'ayant pas hybridé. Une goutte de Vecta Shield est déposée sur chaque filtre avant l'observation au microscope à épifluorescence epi 80i (Nikon, France). Deux sondes oligonucléotidiques universelles des archae (Arch 915, 5'-GTG CTC CCC CGC CAA TTC CT-3') et des bactéries ont été utilisées (EUB 338 5'-GTG CTC CCC CGC CAA TTC CT). -3').

4.2.5. Analyses phylogénétiques

Afin de déterminer les espèces présentes, parallèlement aux expériences d'hybridation *in situ*, ont été menées des identifications génétiques basées sur l'analyse des séquences du gène codant pour la sous-unité 16S de l'ARNr des organismes étudiés (couple 8f-1492r pour les bactéries [Lane et al., 1988], Cya106F-Cya781R pour les cyanobactéries [Nubel et al., 1997] et couple 109F-915R pour les archae [Forschner et al., 2008]. L'ADN total d'un échantillon de « pellicule blanche » a été extrait grâce au kit « DNA blood and tissue kit » de Qiagen selon le protocole fourni par la société. Les échantillons d'ADN obtenus ont été soumis à une température de 90°C pendant 5 minutes, puis à 80°C pendant 5 minutes, ceci pendant trois cycles. Plusieurs réactions de polymérisation en chaîne (PCR) ont ensuite été menées avec différentes amorces spécifiques du gène 16S des bactéries ou des archae. Les amplifications PCR ont été réalisées grâce au kit d'ADN polymérase GoTaq®Flexi de Promega selon les protocoles proposés par le fabricant pour des amorces à 10 µmol/L.

Les produits PCR obtenus ont été alors envoyés pour séquençage. Les séquences obtenues ont été alignées avec MUSCLE et analysées en faisant par BLAST. Les analyses phylogénétiques ont été faites en utilisant le logiciel MEGA version pro 5.2 software. Les arbres phylogénétiques ont été obtenus par la méthode du neighbor-joining.

4.3. Les inventaires des diatomées

4.3.1. Le traitement des échantillons

La préparation et le montage des lames de diatomées ont été réalisés conformément à la norme NF T 90-354 de décembre 2007.

L'identification des diatomées étant basée sur l'examen microscopique du frustule siliceux, les échantillons sont traités afin d'éliminer le protoplasme et en général toute la matière organique pouvant contaminer la préparation.

Une partie aliquote de l'échantillon est prélevée pour être traitée en vue de la confection d'une lame. L'aliquot est débarrassé du formol utilisé pour la fixation par des cycles de lavages/décantation à l'eau déminéralisée dans des béchers. Les béchers sont couverts pour éviter toutes contaminations entre échantillons. L'échantillon subit déjà un long traitement au peroxyde d'hydrogène (H_2O_2 30% volume) à froid pendant 2 à 3 jours dans le but de commencer l'attaque de la matière organique. La préparation est ensuite mise à chauffer avec du peroxyde d'hydrogène durant une journée. La température de la solution doit être d'environ $90^\circ C$ pour obtenir un traitement optimal durant une dizaine d'heures. Après refroidissement de l'échantillon, de l'acide chlorhydrique est ajouté pour éliminer les carbonates de calcium.

Deux cycles complets de traitement à l' H_2O_2 à chaud + Acide chlorhydrique sont systématiquement réalisés avant les rinçages successifs.

Quatre cycles de rinçage/décantation sont ensuite effectués pour éliminer tous les résidus des produits chimiques utilisés.

Après homogénéisation de l'échantillon traité restant, une goutte est déposée à l'aide d'un Pipetman Gilson sur deux lamelles préalablement dégraissées (dans de l'eau savonneuse) ensuite celles-ci sont laissées au repos jusqu'à l'évaporation totale du liquide. Le séchage se déroule à température ambiante.

- En vue de l'observation en microscopie optique, le montage de la lamelle sur la lame se fait dans un milieu à indice de réfraction élevé (Naphrax, Brunel Microscopes Ltd). La plupart des détails structuraux des diatomées sont à la limite de la résolution de la lumière ce qui explique l'utilisation de ce milieu de montage. Une vérification de la concentration en diatomée en conditions réelles de comptage (objectif X100) est réalisée, pour aboutir après réglage (dilution ou concentration de l'échantillon traité) à une densité correcte de 10 à 20 unités diatomiques par champs. La lame est alors prête pour la détermination et l'inventaire.
- En vue de l'observation en microscopie électronique à balayage (MEB), le matériel préalablement déposé sur la lamelle doit subir une deshydratation plus poussée. Pour cela de l'hexaméthylsilazane est ajouté sur la lamelle de manière à former un ménisque. La lamelle est ensuite à nouveau laissée au repos jusqu'à l'évaporation totale du liquide. Les échantillons sont ensuite collés sur des plots puis métallisés par un mélange or-paladium. Les échantillons sont alors prêts pour une observation au MEB en haut vide.

4.3.2. Détermination et inventaires diatomiques en microscopie optique

Chaque préparation a été examinée au microscope avec un objectif x100 à immersion. Les observations peuvent être réalisées en contraste de phase, en contraste interférentielle et en fond clair. Après un balayage exhaustif de la lame afin d'identifier le plus d'espèces possibles, un comptage par champs (balayage par transect) est effectué sur au moins 400 valves afin de dresser un inventaire taxonomique.

Afin d'apprécier avec précision le nombre de formes tétratogènes, 600 valves ont été observées au-delà des 400 premières valves destinées à réaliser l'inventaire et les formes tétratogènes dénombrées. Les résultats sont exprimés en ‰.

Une attention particulière est apportée pour ne pas compter plus d'une fois une unité diatomique. La prise en compte des valves cassées se fait uniquement si au moins un pôle et la partie centrale

sont présents, ce qui évite de compter deux fois la même unité. La même règle est utilisée si l'unité dépasse du champ d'observation. Les taxons observés sont régulièrement photographiés pour éviter toute dérive d'identification pour les taxons déjà connus, pour distinguer certains morphotypes dont l'identification est parfois plus aisée en comparant les photographies ou encore pour une recherche ultérieure pour ceux encore non connus.

4.3.3. Observation des échantillons en microscopie électronique

Les échantillons ont été observés d'une part par Michel Coste à la plate-forme CREMEM de l'Université Bordeaux 1. Le microscope utilisé est de marque ZEISS, modèle EVO 50 (Carl Zeiss AG, Oberkochen, Allemagne). Des observations complémentaires ont été réalisées, d'autre part, par Estelle Lefrançois (Asconit Consultants) au Centre de Ressources en Imagerie Cellulaire (CRIC) de Montpellier. L'appareil utilisé est de marque HITACHI, modèle S 4000. Les photos acquises à divers grossissements ont ensuite été compilées et rapprochées des photos réalisées en microscopie optique.

5. Résultats

5.1. Les analyses physico-chimiques

5.1.1. Les valeurs mesurées

Les valeurs des différents paramètres mesurés au laboratoire par l'OVSG et validées par l'IPGP sont consignées dans le Tableau 3 ci-dessous et illustrées par les diagrammes de Piper (Figure 10).

Tableau 3 : Valeurs des paramètres physico-chimiques mesurés (en ppm)

Site	Température (°C)	pH	Conductivité (°C)	chromatographie									titration	colorimétrie	balance ionique			
				Na	K	Mg	Ca	Cl	SO4	F	Br	HCO3	SiO2	µeq	µeq	NICB	ppm	
				valeurs en ppm														
S+	S-	%	TDS															
RM3	44,50	5,35	1666,00	41,55	13,71	37,21	145,09	111,18	386,33	0,04	0,25	70,72	144,92	12461	12340	1,0	951	
RM2	21,40	3,40	560,00	11,89	1,96	9,17	48,09	29,19	191,17	0,01	0,06	0,00	73,35	4119	4805	-16,7	365	
TA	40,40	5,88	2130,00	77,08	16,22	58,14	181,00	101,09	632,80	0,04	0,29	62,23	134,24	17581	17051	3,0	1263	
GA	42,30	4,80	2480,00	53,81	15,65	63,30	229,70	270,56	518,23	0,09	0,69	28,89	133,45	19423	18891	2,7	1314	
ROC	32,10	7,44	958,00	37,54	13,15	22,62	86,04	77,39	259,45	0,04	0,18	19,30	124,68	8122	7902	2,7	640	
BOU	30,10	7,10	496,00	36,93	3,45	13,88	27,08	67,70	30,80	0,02	0,15	132,60	80,58	4187	4722		393	
Lise	33,90	7,29	324,00	41,54	3,62	4,21	11,72	30,00	25,60	0,04	0,09	131,06	80,96	2830	3527		329	
BCM bassin	32,50	6,45	734,00	15,55	3,01	4,09	103,11	14,56	271,34	/	/	10,15	27,56	6233	6229	0,1		
HR	31,50	6,53	280,00	21,60	2,92	3,70	15,19	9,70	15,70	0,02	0,05	97,50	65,93	2076	2199	-5,9	232	
BJ	29,10	5,15	710,00	27,33	4,15	16,57	64,69	40,05	232,31	0,09	0,09	10,24	93,83	5892	6136	-4,1	489	
CC	43,50	6,66	1217,00	62,08	14,91	30,53	59,94	87,17	187,76	0,03	0,23	141,10	93,33	8584	8680	-1,1	677	
GC paradyse	30,50	7,22	878,00	45,61	10,05	24,67	57,23	100,22	120,05	0,01	0,32	115,95	76,35	7126	7225	-1,4	550	

Site	ICP-MS												ICP-AES						
	Li	Mo	Ba	U	Ti	V	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Al	B	Fe	Mn	Pb	Rb	Sr
valeurs en ppb																			
RM3	10,25	0,78	15,17	0,01	0,09	0,07	1,58	0,10	0,19	7,30	0,35	0,46	8,13	33,63	/	/	7,22	/	68,49
RM2	2,94	0,03	8,47	/	1,73	5,74	0,45	0,25	0,26	3,21	/	0,06	4102,33	48,01	2184,00	408,07	7,36	6,94	63,86
TA	11,12	1,01	1,87	0,01	/	0,76	/	0,03	/	0,56	/	0,76	14,36	647,05	/	11,52	12,91	72,91	143,95
GA	6,54	0,38	1,23	/	/	0,62	0,11	/	/	4,48	0,25	0,09	105,90	682,83	16133,33	3951,33	16,70	64,11	43,26
ROC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
BOU	6,97	0,24	6,01	0,05	/	15,89	/	/	0,28	0,44	0,31	0,20	8,56	33,06	/	/	7,90	12,81	128,53
Lise	4,60	1,02	4,09	0,06	/	22,23	/	/	/	15,98	1,11	0,23	6,88	49,73	/	/	7,88	12,03	67,01
BCM bassin	0,30	/	15,38	/	/	0,24	/	/	/	2,95	/	0,10	60,40	36,43	25,06	233,30	3,20	/	243,30
HR	13,88	0,55	0,30	0,01	/	2,26	/	/	/	0,40	0,39	0,39	9,06	396,73	/	16,87	7,19	48,97	126,50
BJ	9,86	/	2,39	0,01	/	0,34	0,28	0,16	0,75	6,91	/	1,76	96,88	192,57	/	519,83	10,75	16,82	80,06
CC	13,82	1,39	6,68	0,10	/	11,91	/	/	0,15	0,26	0,37	0,61	11,61	211,70	3,22	1,14	9,58	63,27	214,70
GC paradyse	3,15	0,58	10,59	0,38	0,27	8,45	/	/	/	0,32	0,14	0,37	12,60	197,17	/	/	7,04	42,48	218,17

/ : valeurs inférieure à la limite de détection

NC : valeurs manquantes

Les valeurs de température, pH et conductivité de BOU et LIS ont été mesurées par Asconit

Les valeurs de Li, Mo, Ba, U, Ti, V, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Al, B, Fe, Mn, Pb, Rb, Sr du bassin des Bains chauds du Matouba ont été mesurées à la source

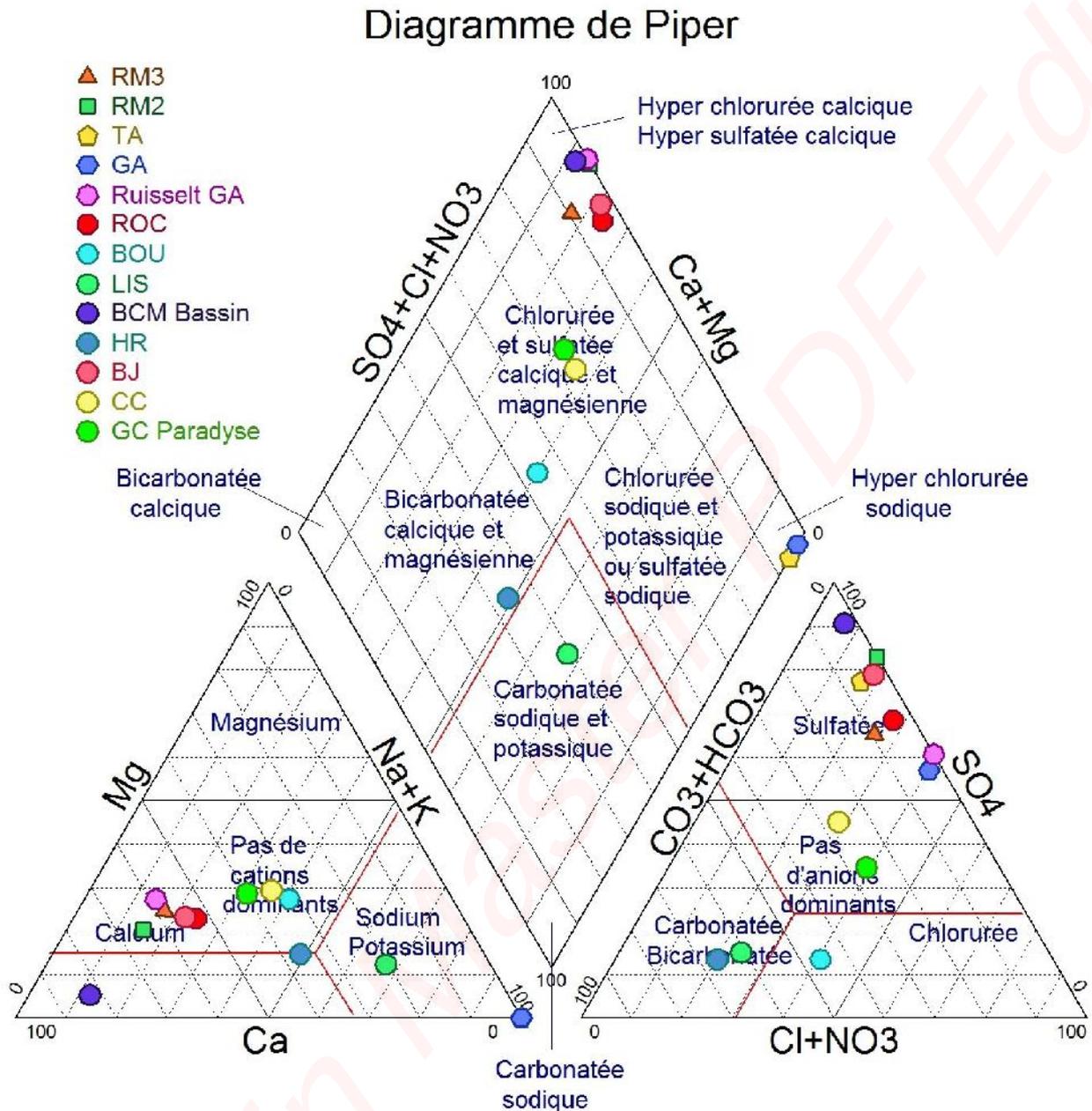


Figure 10 : Diagramme de Piper global

Certaines des sources étudiées sont chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes :

- Cascade Paradyse (GC Paradyse)
- Chute du Carbet (CC)
- Source Bouillante amont (BOU)

La plupart des sources sont hyper-sulfatées calciques et hyper-chlorurées calciques

- Source Bains chauds du Matouba (BCM Bassin)
- Ruissellement Source du Galion (Ruissellement GA)
- Ravine Marchand (RM2 et RM3)

- Source Bains Jaunes (BJ)
- Ravine Roche (ROC)

La source Habitation Revel (HR) est plutôt bicarbonatée calcique et magnésienne et la source Lise (LIS) est bicarbonatées sodique et potassique.

Enfin, les sources du Galion (GA) et Piton Tarade (TA) sont hyper chlorurées sodiques.

5.1.2. L'analyse des données physico-chimiques

Afin de classer les sources étudiées en fonction des valeurs de tous les paramètres physico-chimiques mesurés, une classification ascendante hiérarchique (CAH) et une analyse en composante principale (ACP) ont été réalisées sous R³.

Sur la source du Galion, 2 prélèvements biologiques ont eu lieu : GAL1 sur la paroi et GAL2 à l'amont de la source, au niveau d'un ruissellement. Néanmoins, seule l'eau de la source, correspondant à l'échantillon de diatomées GAL1 a été analysée au laboratoire de l'OVSG. GAL2 n'a donc pas été prise en compte pour la CAH et l'ACP.

Les valeurs des paramètres physico-chimiques ont été centrées réduites.

Les résultats de la CAH sont illustrés par la Figure 11 ci-dessous.

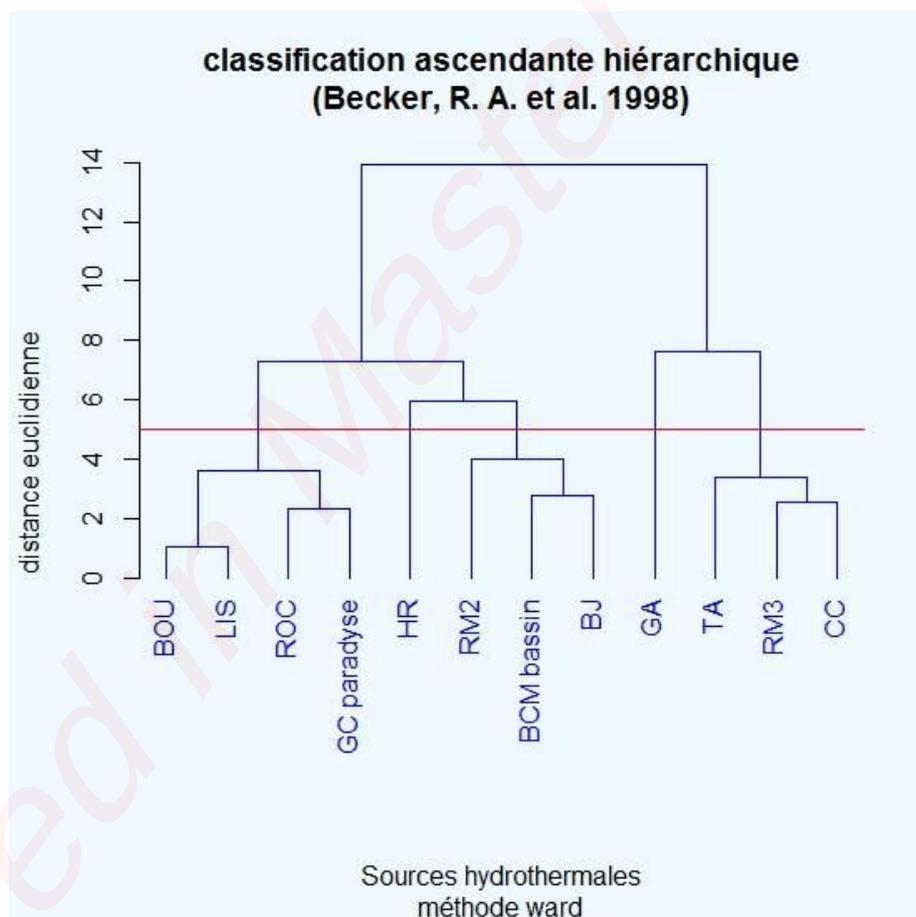


Figure 11 : Dendrogramme issu de la CAH

³ R version 2.14.0 (2011-10-31) - Copyright (C) 2011 The R Foundation for Statistical Computing - ISBN 3-900051-07-0 - Platform: x86_64-pc-mingw32/x64 (64-bit)

Différents groupes de stations peuvent être identifiés en fonction du degré de résolution recherché. Ces groupes peuvent être visualisés plus facilement sur le plan issu de l'ACP.

L'éboulis des valeurs propres de l'ACP (Figure 12) montre que les 2 premiers axes du plan renferment déjà 72,9% de l'information.

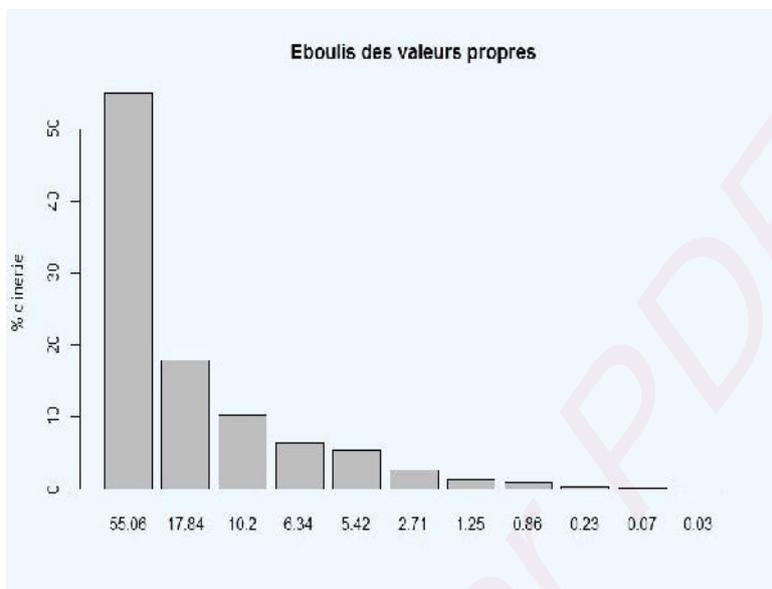


Figure 12 : Eboulis des valeurs propres de l'ACP

Ces 2 premiers axes sont chacun porteurs d'une information différente : L'axe 1 est très corrélé à la conductivité, aux Sulfates, Calcium, Chlore, Brome, Potassium et Magnésium alors que l'axe 2 est plus corrélé aux Bicarbonates et au pH (Figure 13).

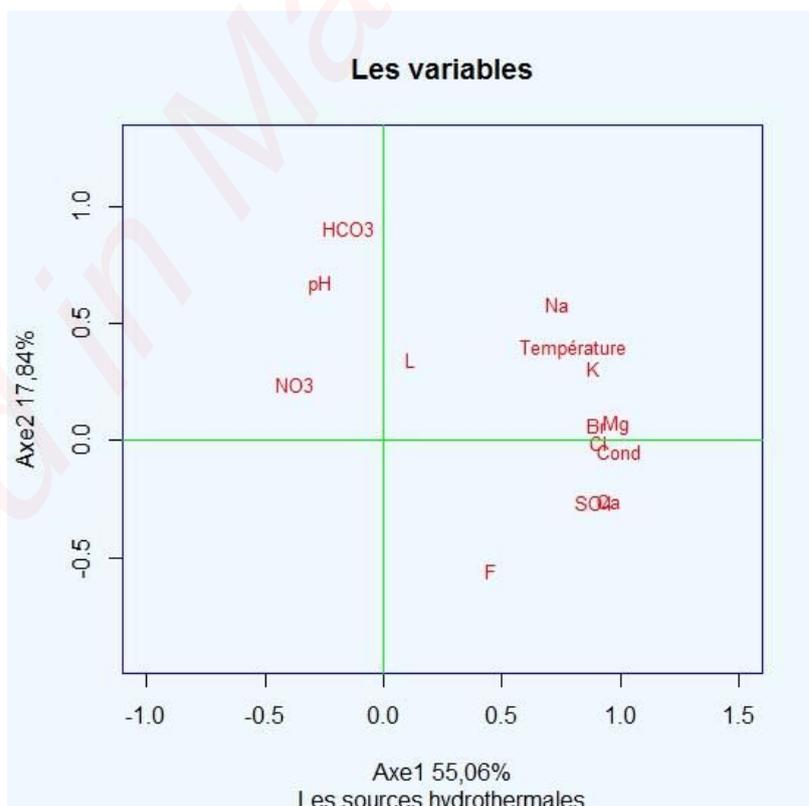


Figure 13 : Projection des variables sur le plan de l'ACP

La projection des stations sur ce même plan permet d'illustrer les clusters de stations mis en évidence par la CAH et aussi de montrer quels sont les paramètres qui caractérisent le plus certaines stations (Figure 14). Par exemple, les sources du Galion (GA), Tarade (TA) et dans une moindre mesure la Ravine Marchand (RM3) se distinguent des autres sources par leur teneur élevée en sulfates. Les sources des chutes du Carbet (CC), la Cascade Paradise (GC Paradise) et les sources du secteur Bouillante (BOU et LIS) sont riches en Bicarbonates et leur pH est proche de la neutralité. Au contraire la Ravine marchand (RM2) est caractérisée par un pH très acide. L'habitation Revel (HR) et les sources du secteur de Bouillante (BOU et LIS) se définissent aussi par leur faible minéralisation en particulier en Sulfates.

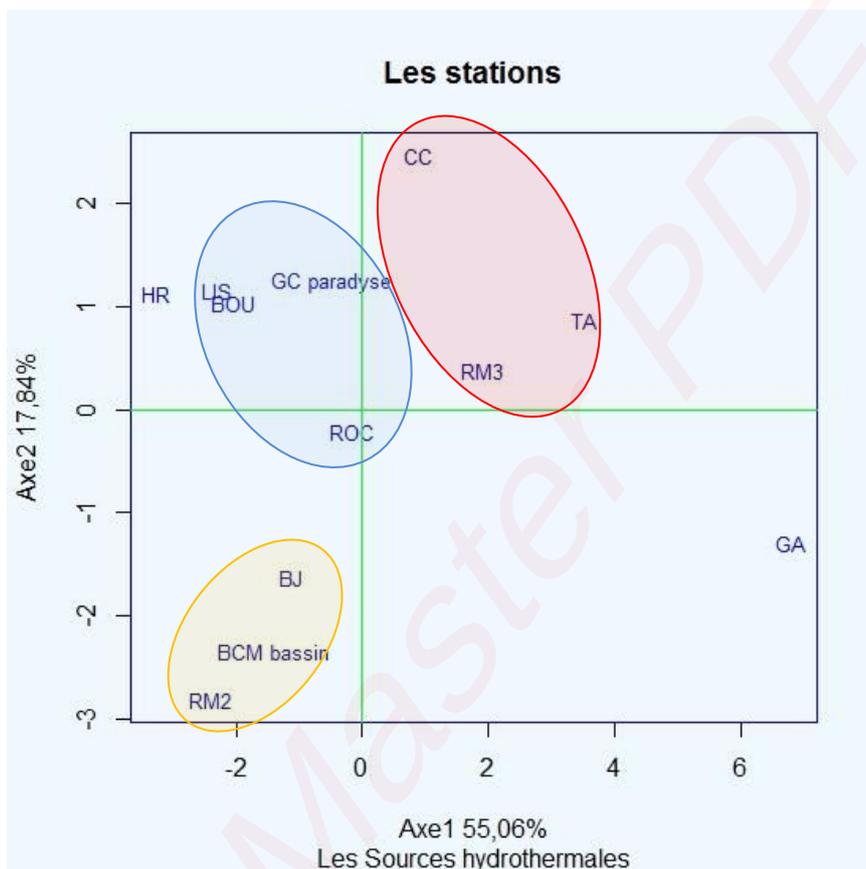


Figure 14 : Projection des stations sur le plan de l'ACP

5.2. L'analyse du compartiment bactérien, bactéries, cyanobactéries et des Archaea

5.2.1. Les sources blanches de la Soufrière

Une première observation de la « pellicule blanchâtre » en microscopie électronique à balayage montre une grande quantité de structures de type minéral (Figure 15A, Figure 16A) sans présence de microorganismes. L'analyse par dispersion des rayons X (EDX) de cette « pellicule blanchâtre » en microscopie électronique à balayage environnemental a révélé une forte concentration en soufre élémentaire (Figure 15B). Il semble donc que cette pellicule soit très majoritairement composée de soufre élémentaire comme le montre la cartographie élémentaire effectuée sur ces cristaux (Figure 15C-F). L'image en mixmap montre clairement la juxtaposition des imageries du soufre avec celles des cristaux (Figure 15F).

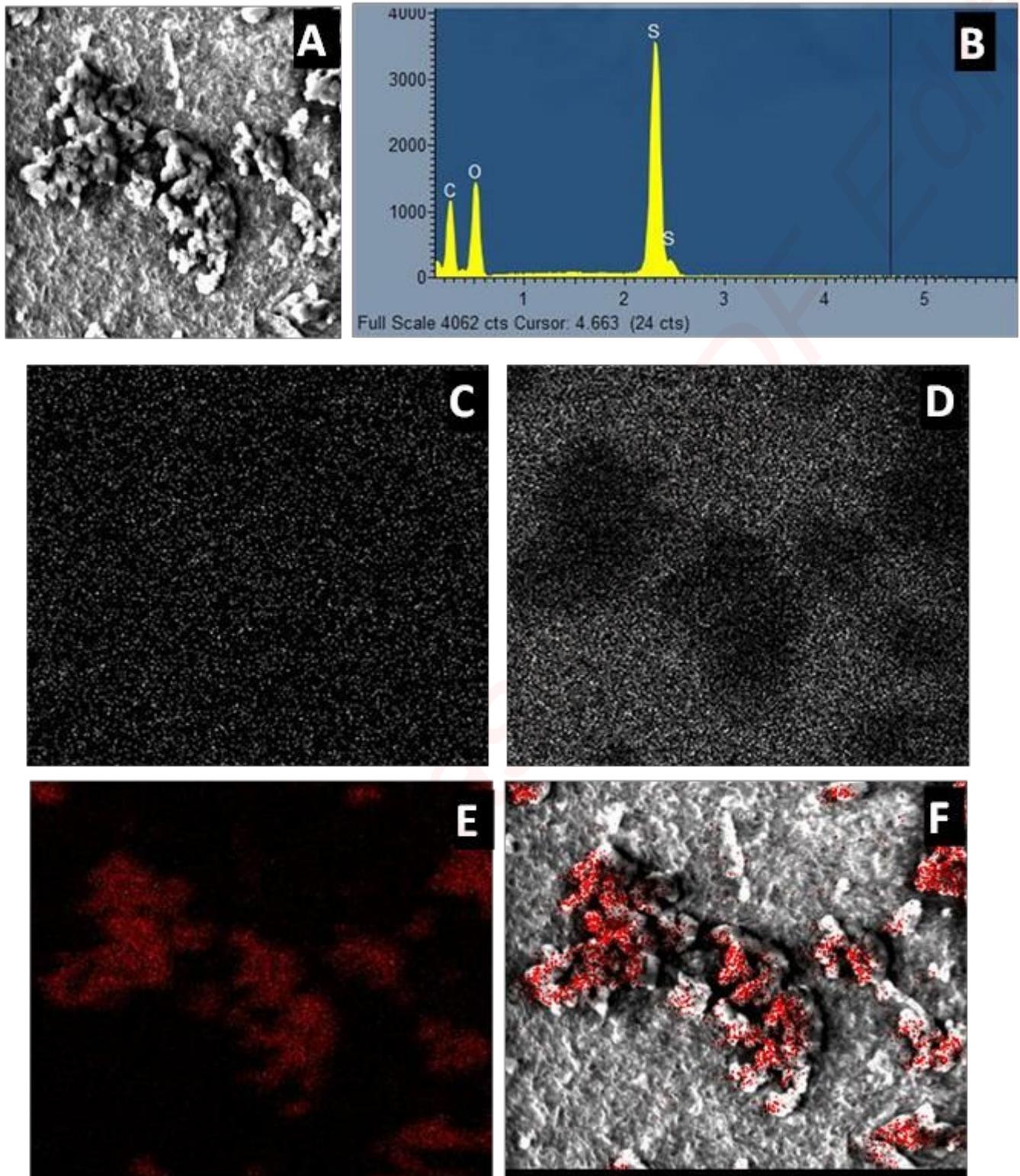


Figure 15 : Analyse chimique de la pellicule blanche. A : image prise au MEB conventionnel. B : spectre EDX obtenu à partir des cristaux. C : cartographie de l'oxygène ; D : cartographie du carbone ; E : cartographie du soufre ; F : juxtaposition de E et de A démontrant la nature des cristaux observés dans la pellicule blanche de ces sources

Il ressort de cette analyse que cet environnement est un environnement sulfidique qui devrait être propice à un développement de procaryotes chimioautotrophes. Dans le même temps, les paramètres physicochimiques mesurés dans l'eau de ces sources froides des flancs de volcan

montrent un environnement acide (pH 4.8) mais plutôt mésophile ($T=24.5^{\circ}\text{C}$) avec des concentrations importantes en SO_4^{2-} (545ppm) et Ca^{2+} (230ppm).

Les premières observations directes n'ayant rien permis de détecter comme procaryotes, il est décidé de dissoudre ce soufre élémentaire présent en très grande quantité et le plaçant dans des bains en éthanol absolu. L'éthanol permettant de dissoudre le soufre, il a alors été possible de mettre en évidence un grand nombre de cellules procaryotes. Ces cellules sont se sont avérées être en majorité des archae comme le montre les images obtenues après hybridation avec la sonde universelle archae (Figure 16B)

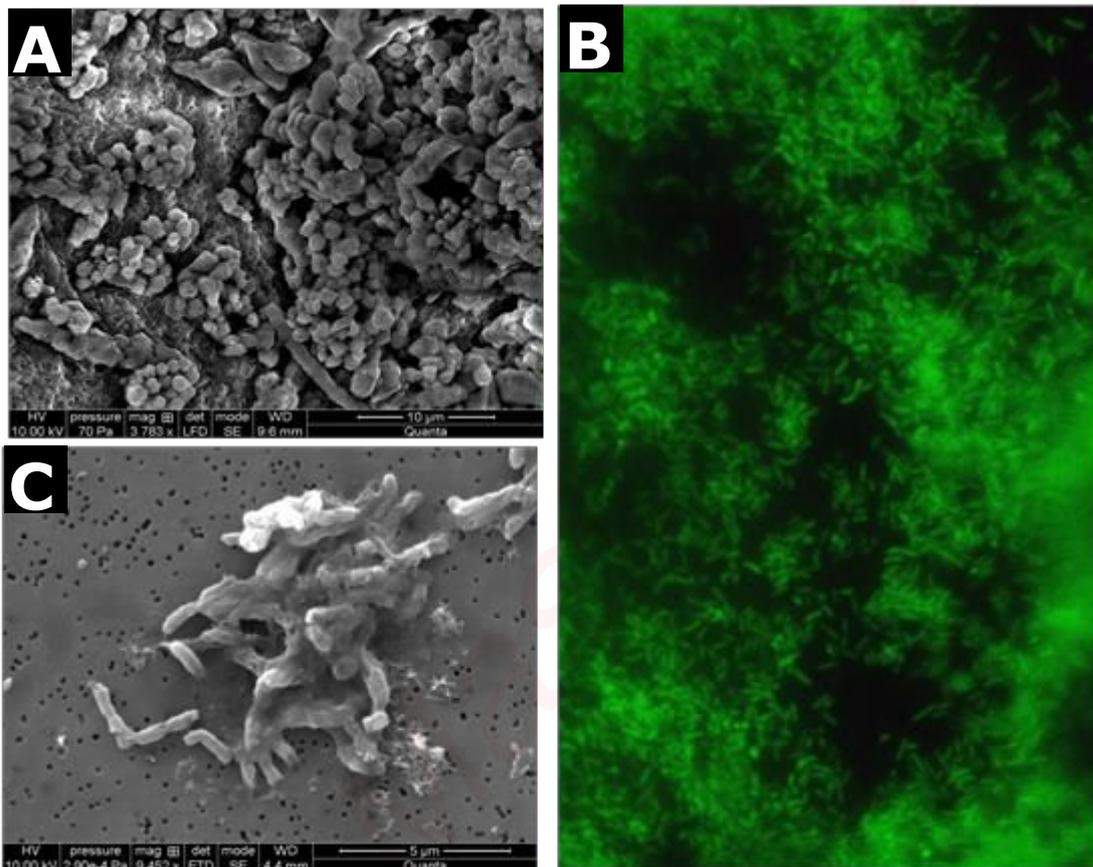


Figure 16 : Composition microbienne de la pellicule blanche. A : image prise au MEB conventionnel. B : Hybridation des micro-organismes par la sonde ARCH915 spécifique des archae après dissolution du soufre. C : les archae sont de forme bacillaire et mesurent environ 1µm de long

Ces archae sont de forme bacillaire et d'une taille moyenne proche de 1µm. L'analyse structurale au MEB, bien que difficile de par la présence persistante d'une « gangue », confirme les résultats du FISH avec de cellules de petite taille (Figure 16C). Ces archae présentent également de nombreuses formes de division cellulaire (Figure 16C). Les hybridations effectuées avec la sonde universelles bactérienne EUB 338, montre une très faible proportion de bactéries dans ce mélange (résultat non présenté).

La présence avérée de ces micro-organismes nécessitent une analyse plus poussée avec comme but de pouvoir identifier ces germes non cultivables. Nous avons développé une approche d'identification moléculaire basée sur l'amplification et le séquençage de l'ADNr 16S. Les produits d'amplification en chaine par polymérase obtenus ont été séquencés permettant l'obtention d'une séquence de 724 pb. L'analyse phylogénétique permet d'identifier les archae isolées comme appartenant au genre Thermoplasmatales (Figure 17) de l'embranchement des Euryarchaeota. La séquence obtenue de 724 pb présente une grande homologie (100% identité) avec celle d'une souche isolée dans une source chaude acide des Andes (Colombie). Il existe très peu de données sur le genre des Thermoplasmatales et les archae présentes en très grand nombre au niveau des

sources blanches présentent donc un intérêt particulier qui nécessitera des analyses plus poussées notamment au niveau de la physiologie de ces cellules en relation avec la chimie du milieu environnant.

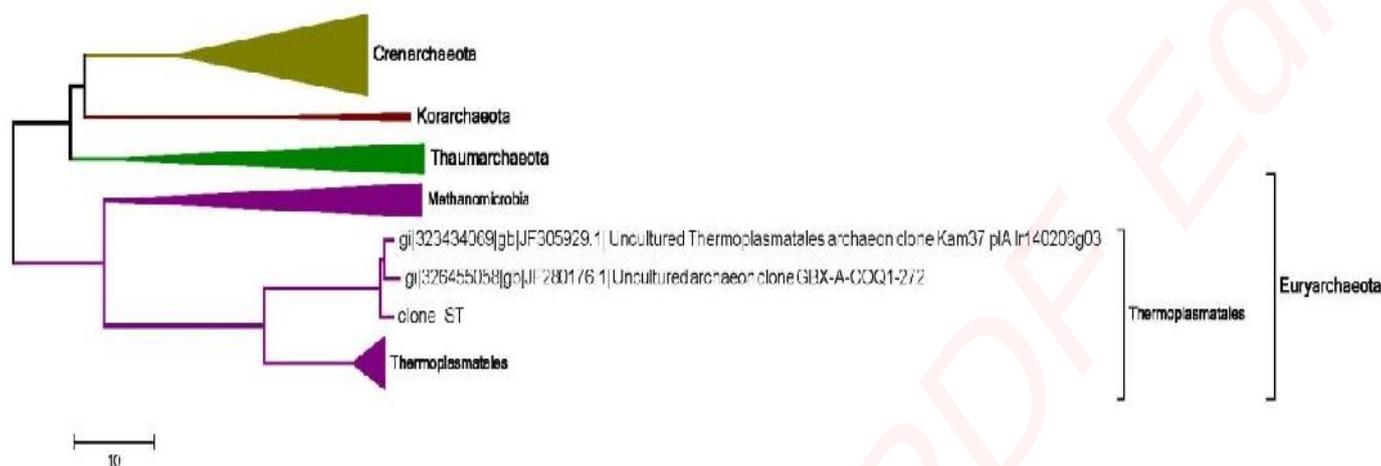


Figure 17 : Arbre phylogénétique des archae peuplant les sources hydrothermales de la soufrière

Il reste encore à définir si le soufre élémentaire présent en très grande quantité au niveau de ces sources blanches est le résultat d'une activité géologique permettant par la suite le développement important d'une population d'Archae colonisant cette niche écologique particulière ou si le soufre provient de l'activité métabolique des Thermoplastales qui expulserait le soufre élémentaire en grande quantité. Seules des analyses isotopiques ultérieures du soufre permettraient de trancher.

La recherche des bactéries par PCR a permis de mettre en évidence des bactéries ferro-oxydantes du genre *Gallionella*. Bien que minoritaires dans cet environnement, la présence de ces bactéries liées au cycle du fer s'explique parfaitement étant donné la richesse en composés ferreux présents en quantité dans les roches sur lesquels circulent l'eau de ces sources.

En conclusion, les sources blanches observées sur les flancs de la soufrière représentent un écosystème sulfidique unique, riche en archae d'un groupe assez peu étudié à ce jour. Elles représentent également un élément de comparaison intéressant avec d'autres archae d'environnements sulfidiques de la Guadeloupe comme les Thaumarchae des mangroves de bord de mer.

5.2.2. Les cyanobactéries des sources

Tous les prélèvements effectués n'ont pu être analysés car certains d'entre eux se sont avérés être très chargés en micro-organismes ce qui complique considérablement les analyses et impliquerait l'utilisation de techniques plus pointues non envisagées dans cette étude.

Néanmoins, la première des sources à avoir été analysée du point de vue des cyanobactéries est celle du Galion. Cette petite cascade présente globalement quatre couleurs différentes (Figure 18A). La couleur marron foncée correspond à la roche, la couleur marron clair est probablement un complexe minéral à base de fer. Ces deux parties de la cascade ne sont pas glissantes ce qui indique une absence de biofilm bactérien et confirme qu'il ne s'agit que de la partie minérale de la cascade. Les parties vertes (morphotype vert clair (astérisque) et vert foncé (étoile), Figure 18B) ont été prélevées et analysées par séquençage de l'ADNr 16S obtenu à l'aide des amorces universelles de cyanobactéries (couples d'amorces Cya106F-Cya781R [Nubel et al., 1997]). Les deux morphotypes vert clair et vert foncé correspondent en fait à une seule et même espèce. Les analyses phylogénétiques montrent que cette espèce appartient au genre des *Planktolyngbya* de l'ordre des *Oscillatoriales*.

Description du genre Planktolyngbya (d'après Komarek (1992)) : genre filamenteux; filaments solitaire, avec des gaines minces, simples, incolores, mais fermes ; très exceptionnellement présence de fausses ramification; trichome cylindrique isopolaire, droit, courbe ou enroulé en spirale, étroit, jusqu'à 3 μm de large, généralement non rétréci aux extrémités, toujours immobiles. Les cellules sont cylindriques, rarement plus courtes que larges, souvent plusieurs fois plus long que large, sans aerotopes ou avec aerotopes polaires facultatifs, parfois avec des granules solitaires; L'extrémité des cellules est arrondie ou rétrécie, toujours sans calyptra. Le contenu de la cellule est pâle gris-bleu, bleu-vert, jaunâtre ou vert-olive ; Les thylakoïdes localisées en périphérie le long des parois cellulaires.

Les espèces du genre sont généralement planctoniques, présentes dans de grands réservoirs mésotrophiques. Plusieurs espèces sont inféodées aux milieu tropicaux ou chauds de milieux tempérés.



Figure 18 : La source du Galion (A) est en partie recouverte par un biofilm bactérien de couleur vert clair (astérisque) et vert foncé (étoile) (B)

Les cyanobactéries appartenant à l'ordre des Oscillatoriales sont toutes dépourvues de cellules différenciées. Ces organismes sont en fait de grands filaments (Fig. 19A) correspondant à une colonie de cellules organisées dans le sens de la longueur. Ces micro-organismes phototrophes sont caractérisés par des trichomes solitaires, non ramifiés, pouvant posséder une membrane de polysaccharides. L'espèce trouvée ici présente des cellules de forme cylindrique de 1,5 μm de large et de haut (Fig. 19B) comme le montre les analyses ultrastructurales effectuées. Cette espèce forme un biofilm monospécifique du point de vue cyanobactérie. C'est donc la seule espèce à coloniser ce type de milieu.

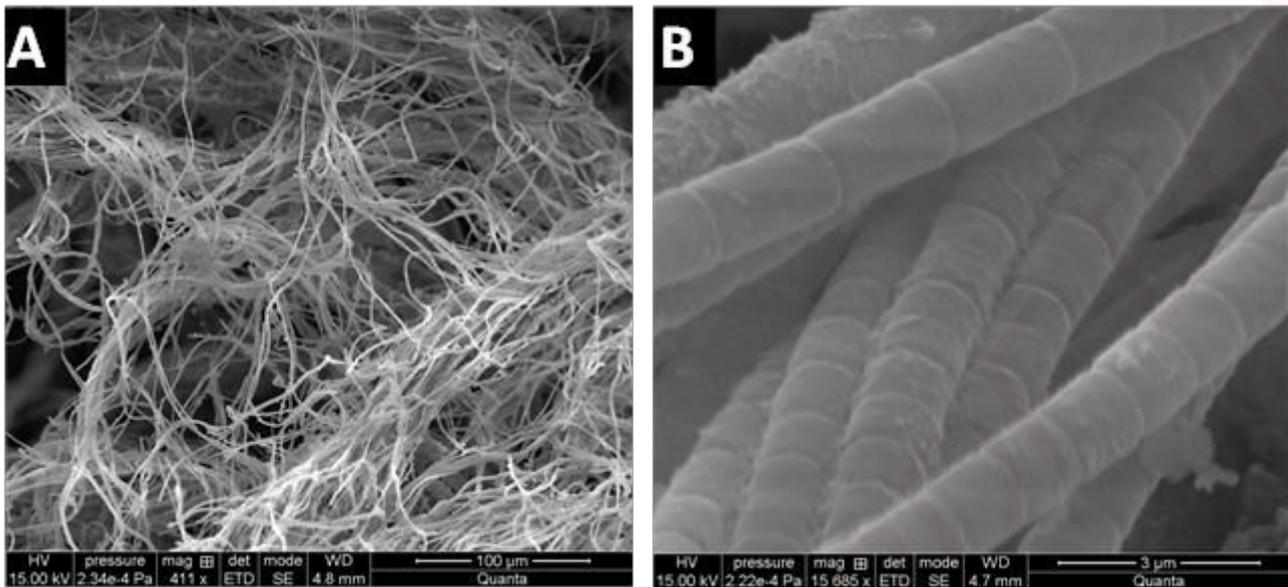


Figure 19 : Ultrastructure des cyanobactéries du genre *Planktolyngbya* de la source du Galion

C'est également la même espèce de *Planktolyngbya* qui colonise la source de la Ravine Roche. L'aspect de cette source (Figure 20) étant très proche de celui de la source du Galion (

Figure 18A).

Cette espèce semble être une espèce nouvelle, mais cette information demande à être confirmée par des analyses complémentaires avant de pouvoir l'affirmer.

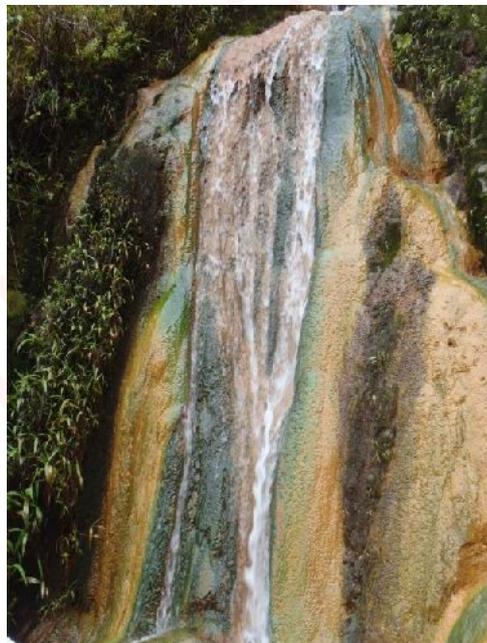


Figure 20 : Paroi située à l'aval de la source de la Ravine Roche

Les filaments rencontrés dans la source Marchand (flèches noires) (Figure 21 A-B) correspondent à une autre espèce de cyanobactéries. Cette espèce présente une morphologie différente de la *Planktolyngbya* des sources de Galion et de Ravine Roche. En effet, le trichome possède des cellules plus courtes avec des cellules différenciées (Figure 21 B, étoile). Le prélèvement au niveau de cette source était également particulièrement riche en diatomées (flèches blanches) en plus des cyanobactéries filamenteuses (flèches noires)(Figure 21 A).

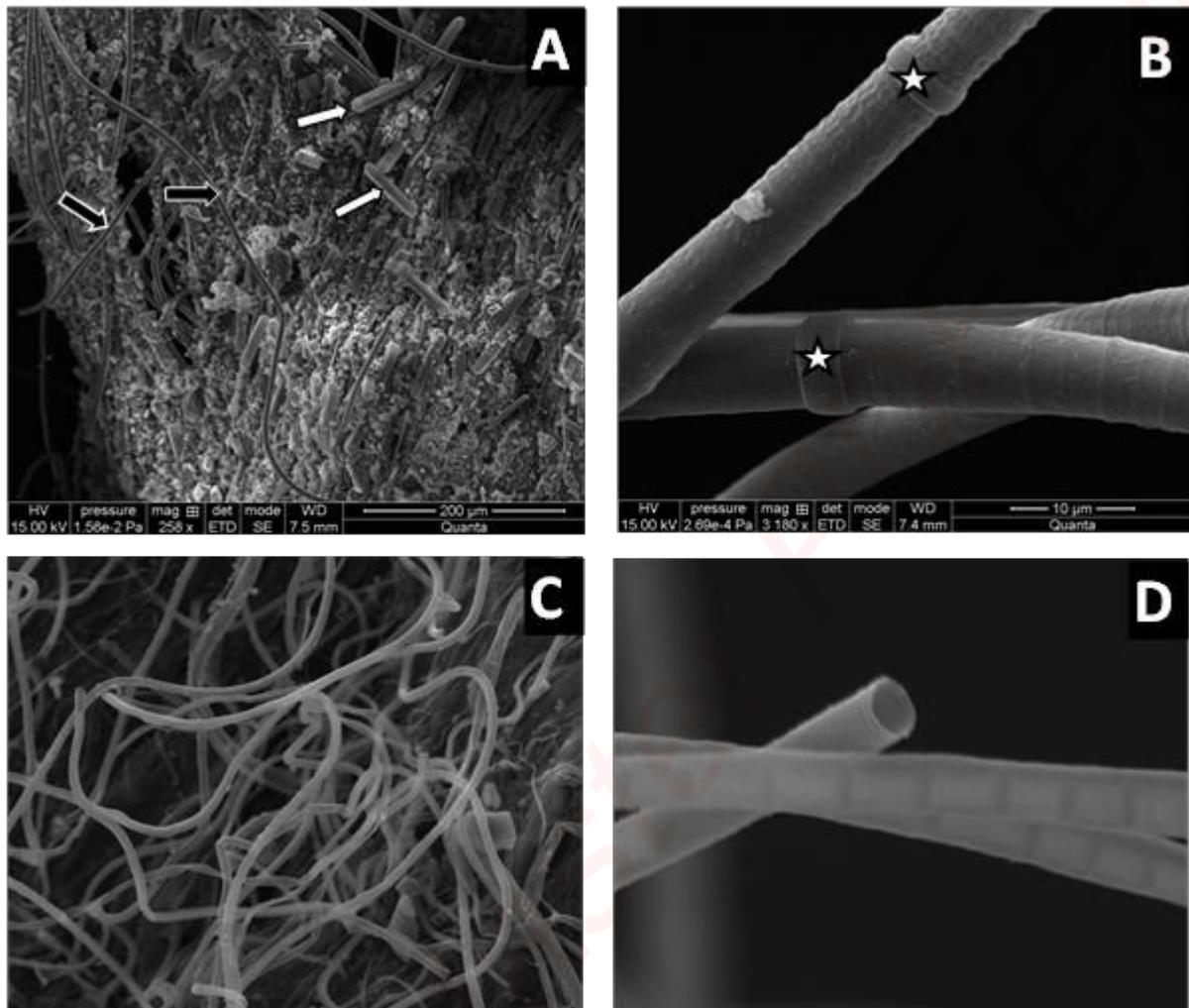


Figure 21 : Ultrastructure des cyanobactéries de la source de ravine Marchand (A et B) et des Chutes du Carbet (C et D)

Au niveau de la source des Chutes du Carbet, des cyanobactéries filamenteuses ont également pu être observées. Elles présentaient un morphotype un peu différent où les filaments étaient dépourvus de cellules différenciées (Figure 21D) et présentaient des septums bien visibles au MEB.

Leur positionnement phylogénétique est encore un peu incertain car les séquences obtenues n'étant pas assez longues (<300pb). Néanmoins, nous pouvons affirmer que ces deux cyanobactéries forment un groupe assez éloigné des *Planktolyngbya*, dans un clade isolé bien que faisant partie des *Oscillatoriales*. La morphologie externe de ces filaments est en accord avec celle des *Oscillatoriales* car ces cyanobactéries filamenteuses sont connues pour être libre et ne pas posséder d'hétérocystes ou d'akinetes (Komárek & Komárková, 2004).

Une association particulière a pu être mise en évidence dans la source Thomas. La particularité de cette source est liée au fait qu'il y a un apport en eau de mer au niveau de cette source. Les cyanobactéries filamenteuses (de couleur verte) observées avaient la particularité d'être associées à des bactéries filamenteuses (de couleur blanche) probablement liées au cycle du soufre (Figure 22). Les organismes phototrophes observés font partie des *Plectonema* et ont la particularité d'être recouvertes de bactéries sulfo-oxydantes du genre *Thiomicrospira*.

Ce type d'association est pour le moment unique et n'a jamais été décrit dans la littérature scientifique. En fait, les cyanobactéries pourraient ainsi profiter d'un environnement détoxifié par le métabolisme des *Thiomicrospira* sulfo-oxydantes qui oxyderait les sulfures présents dans l'eau.



Figure 22 : Photo prise *in situ* de l'association cyanobactéries-bactéries sulfo-oxydantes au niveau de la source de Thomas

L'analyse ultrastructurale et l'analyse des composés élémentaires par dispersion des rayons X (EDX) a permis de valider la nature thio-autotrophique de ces bactéries (Figure 23)

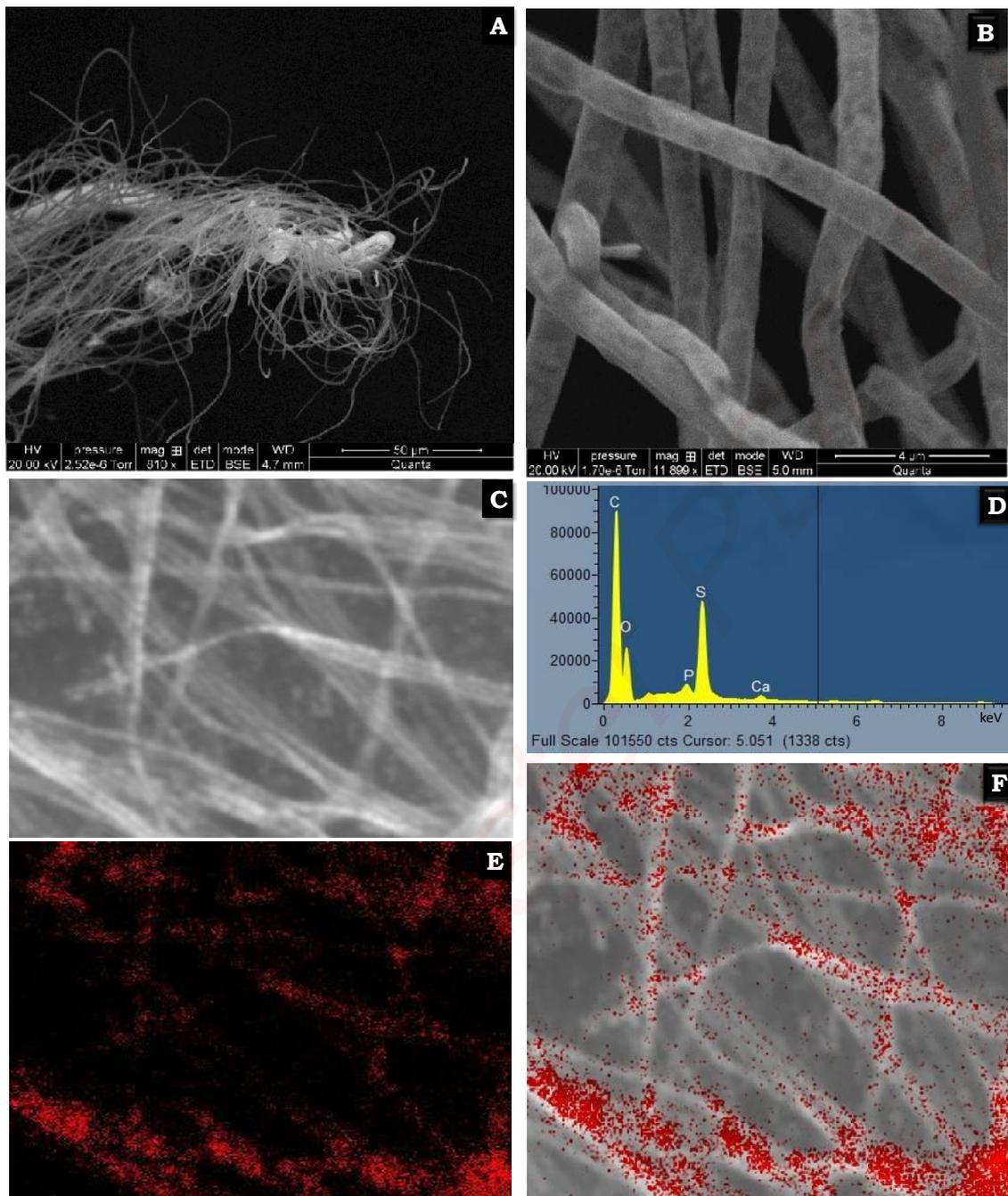


Figure 23 : Analyse du complexe bactérien de la source Thomas. En MEB conventionnel, la cyanobactérie filamenteuse (cylindre blanc épais en position central) est entourée par de nombreux filaments de diamètre plus faible (A et B). Ces filaments correspondent aux bactéries sulfo-oxydantes. C : bactéries thioautotrophes analysées par EDX. D : spectre EDX d'un de ces filaments montrant un pic majoritaire de soufre élémentaire. E : Cartographie du Soufre. F : Mixmap image de C et E montrant que ce sont les filaments qui contiennent le soufre élémentaire confirmant la nature thio-autotrophes de ces bactéries.

5.3. Les inventaires des diatomées

Cent quarante-huit taxons ont été inventoriés dont 26 taxons nouvellement observés par rapport aux inventaires réalisés au cours du programme de mise au point de l'Indice Diatomées Antilles.

Ces 26 taxons sont :

Achnantheidium exiguum var. *constrictum* (Grunow) Andresen. Stoermer & Kreis

Achnantheidium sp20 (*A. cf. affine*)

Achnanthes kuwaitensis Hendey

Brachysira garrensis (Lange-Bertalot & Krammer) Lange-Bertalot

Chamaepinnularia elongata (Manguin) Metzeltin & Lange-Bertalot

Chamaepinnularia mediocris (Krasske) Lange-Bertalot

Chamaepinnularia sp2

Chamaepinnularia thermophila (= *Navicula thermophila* Manguin in Bourrelly & Manguin)

Diadesmis arcuata (Heiden) Lange-Bertalot

Diadesmis brekkaensis (J.B.Petersen) D.G. Mann

Eunotia nanolusitanica

Eolimna sp12

Eunotia rabenhorstiana (Grun.) Hustedt var. *rabenhorstiana*

Eunotia rhomboidea Hustedt

Eunotia hepaticola Lange-Bertalot & Wydrzycka

Fallacia latelongitudinalis (Patrick) Potapova

Gomphonema sp45 (*cf. G. lagenula*)

Gomphonema subclavatum Grunow

Amphora sp11.

Halamphora subholsatica (Krammer) Levkov

Navicula arvensoides Hustedt

Navicula guadalupensis Manguin in Bourrelly & Manguin

Nitzschia ruda Cholnoky

Nitzschia sp63

Nitzschia microcephala Grunow in Cleve & Moller

Stauroneis rostrata (Hustedt) Metzeltin & Lange-Bertalot

Espèces que ces travaux permettrait de rattacher à un nouveau genre (voir paragraphe 5.3.1)

Espèces potentiellement nouvelle pour la science (description p 50)

Leurs abondances sont listées dans le Tableau 4 ci-dessous.

Les inventaires présentant l'ensemble des taxons et leur abondance selon les stations sont présentés en annexe 2.

Tableau 4 : Abondances relatives des taxons nouvellement inventoriés par rapport aux acquisitions effectuées au cours du programme de mise au point de l'IDA

Désignation du taxon	TAXON IBD	Code OMNIDIA															
			RM3	RM2	TA	GA	ROC	BCM Bassin	HR	BJ	CC	CCBIS	GC Paradysse	LIS	BOU	THO	
Achnanthidium exiguum var.constrictum (Grunow) Andresen. Stoermer	*	ACEC	19														
Achnanthidium sp20 (A. cf. affine)		AD20									29						
Achnanthes kuwaitensis Hendey		AKUW															2
Brachysira garrensis (Lange-Bertalot & Krammer) Lange-Bertalot		BGAR						19		5							
Chamaepinnularia elongata (Manguin) Metzeltin & Lange-Bertalot		CEGA	vu mais non inventoriée														
Chamaepinnularia mediocris (Krasske) Lange-Bertalot	*	CHME						2			2						
Chamaepinnularia sp2		CHA2						19									
Chamaepinnularia thermophila (=Navicula thermophila)		NTPH									12		5				
Diadesmis arcuata (Heiden) Lange-Bertalot		DIAR	vu mais non inventoriée														
Diadesmis brekkaensis (J.B.Petersen) D.G. Mann		DBRE			2												
Eunotia nanolusitanica		ENNL						14			12						
Eolimna sp12		EO12							27				77				
Eunotia rabenhorstiana (Grun.) Hustedt var. rabenhorstiana		ERAB				811				7							
Eunotia rhomboidea Hustedt	*	ERHO							27	12							
Eunotia hepaticola Lange-Bertalot & Wyrzycka		EUHE		919													
Fallacia latelongitudinalis (Patrick) Potapova		FLLG	vu mais non inventoriée														
Gomphonema sp45 (cf. G. lagenula)		GO45										299	5				
Gomphonema subclavatum Grunow		GSCL				5											
Amphora sp11		AM11				2											7
Halamphora subholsatica (Krammer) Levkov		HSHO	vu mais non inventoriée														
Navicula arvensoides Hustedt		NARD						423									
Navicula guadalupensis Manguin in Bourrelly & Manguin		NGDL	vu mais non inventoriée														
Nitzschia ruda Cholnoky		NRDA	vu mais non inventoriée														
Nitzschia sp63		NI63											7	7			
Nitzschia microcephala Grunow in Cleve & Moller	*	NMIC															
Stauroneis rostrata (Hustedt) Metzeltin & Lange-Bertalot		SRST	2							20							

NB : Certaines espèces ont été observées au cours du balayage de la lame mais sont rares et n'ont pas été observées lors de l'inventaire des 400 valves inventoriés

D'autres taxons (Tableau 5) ont pu être mieux illustrés ce qui a permis d'émettre des hypothèses taxonomiques. Des éléments de certitudes manquent toutefois encore.

Tableau 5 : Taxons mieux identifiés sans que leur identité soit totalement validée

Désignation du taxon (code OMNIDIA)	Nouvelle désignation (code OMNIDIA)															
		RM3	RM2	TA	GA	ROC	BCM Bassin	HR	BJ	CC	CCBIS	GC Paradysse	LIS	BOU	THO	
Fragilaria sp1 (FR01)	Pseudostaurosiropsis connecticutensis (PDPC)							150		2						
Eunotia sp25 (EU25)	Eunotia soleirolii (Kützing) Rabenhorst (ESOL)										124					
Eolimna sp1 (EO01)	Eolimna krummensis (EOKR)							7	2	7	7	17	2			
Eolimna sp2 (EO02)	Eolimna crassulexigua (ECRX)							15			10		63	60		
Diadesmis sp8 (DI08)	Diadesmis platensis (DPLT)													2		
Nitzschia sp81 (NI81)	Nitzschia soratensis (NSTS)							57								
Denticula sp1 (DEN1)	Denticula valida (DVAL)								2	86	25			2		

Les illustrations en microscopie optique et électronique de tous les taxons d'intérêt, y compris ceux listés dans le Tableau 5, sont présentées sous forme d'atlas en annexe 3.

Les taxons nouvellement inventoriés pour la Guadeloupe par rapport au programme de mise au point de l'IDA (Tableau 4) sont repris ci-dessous.

Les photos optiques (crédit photo : Asconit Consultants) et électroniques (crédit photo : Asconit Consultants & Michel Coste, Irstea⁴).

⁴ pour les photos où apparaît l'inscription « PLACAMAT »

5.3.1. Les taxons nouvellement inventoriés par rapport au programme de mise au point de l'IDA

- *Achnanthes kuwaitensis* (AKUW)

Référence : *Achnanthes kuwaitensis* Hendey 1958 J.Microsc.Soc.77(3)p55f6:8-10 Gotoh79JJP27 Navarro1982 p27f16 LBK89 p80 Archibald 1983 p23-25 Witkowski 2001 ID7 p91f43:13-15 KAJD2006 p114 pl.142 Code SANDRE10964

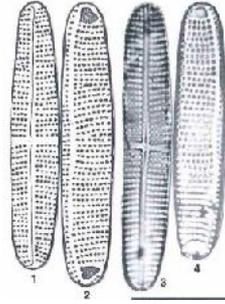
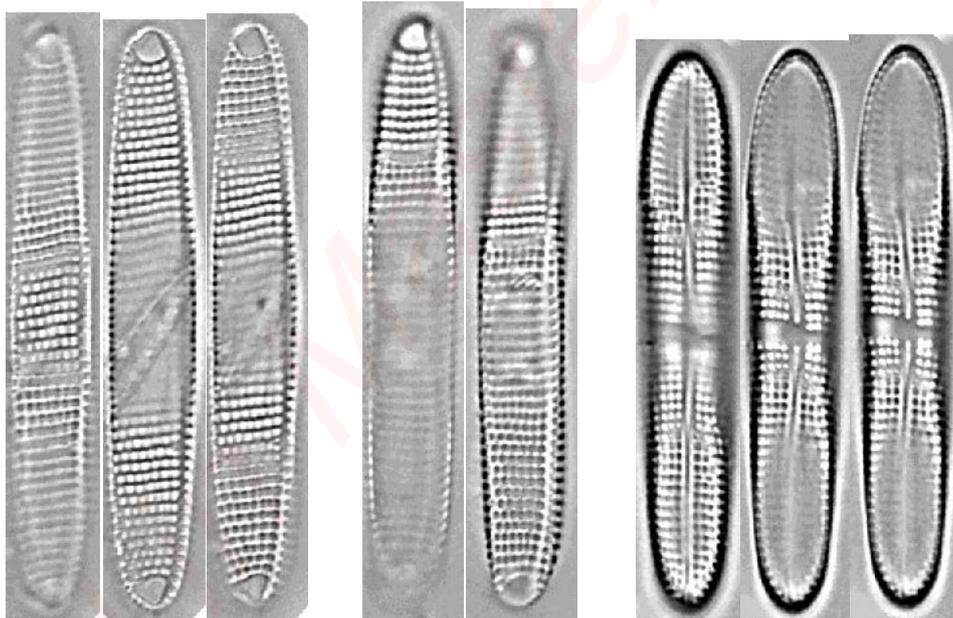
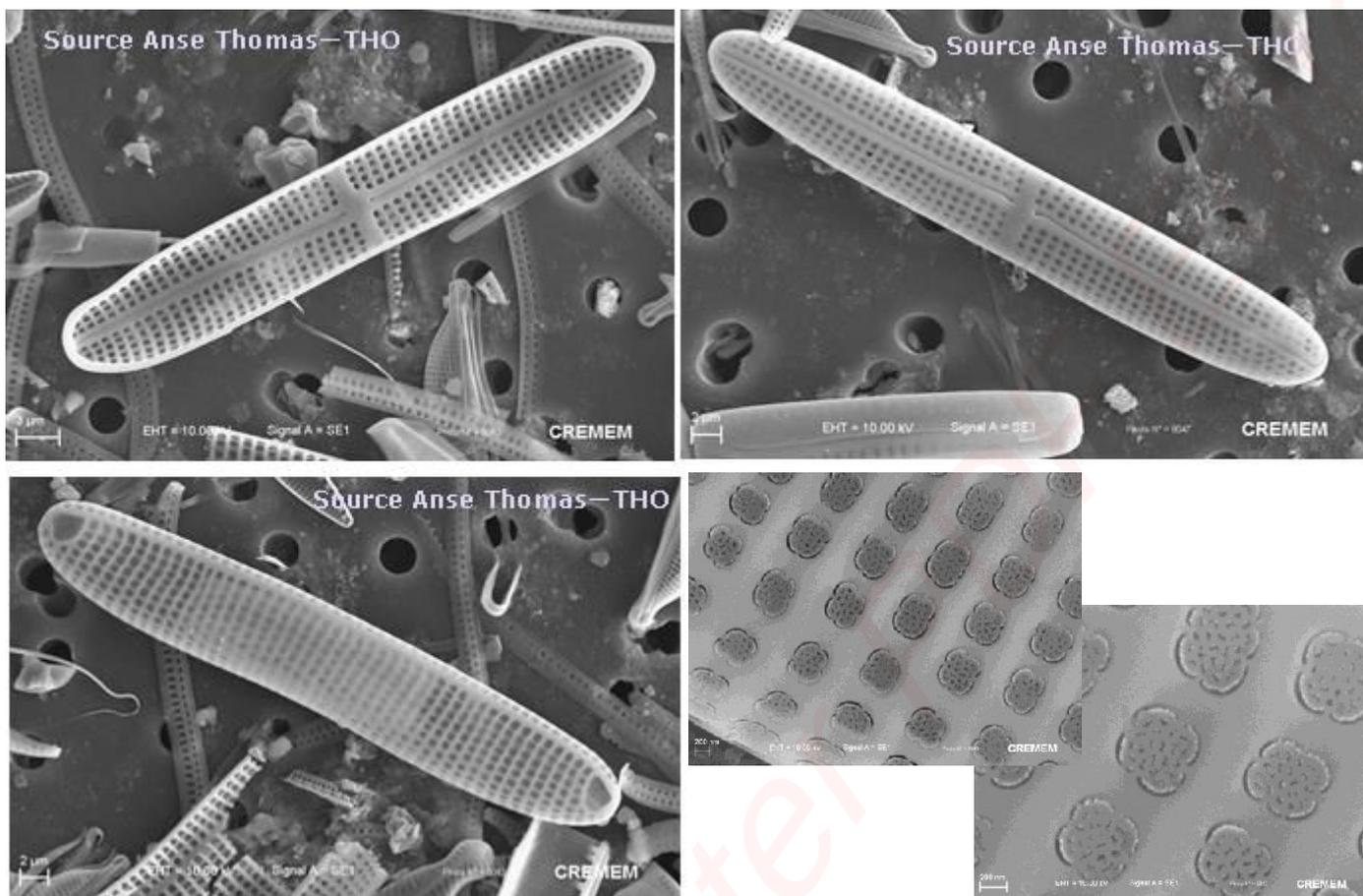


Figure 24 : AKUW Pl. 142 in KOBAYASI, H., M. IDEI, S. MAYAMA, T. NAGUMO & K. OSADA (2006). H.Kobayasi's Atlas of Japanese Diatoms based on electron microscopy Vol. 1. Tokyo, Uchida Rokakuho Publishing Co.,Ltd.:531p.

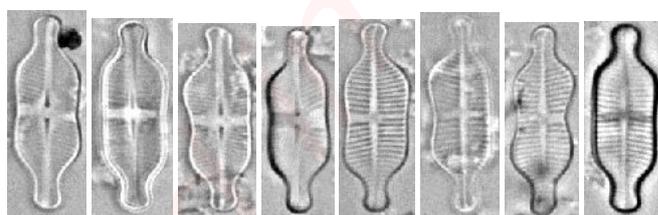


Source Anse Thomas - THO



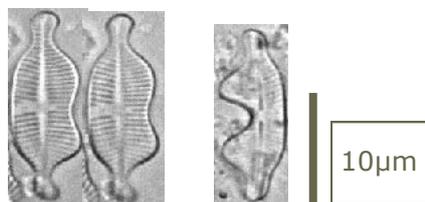
• ***Achnantheidium exiguum var.constrictum (ACEC)***

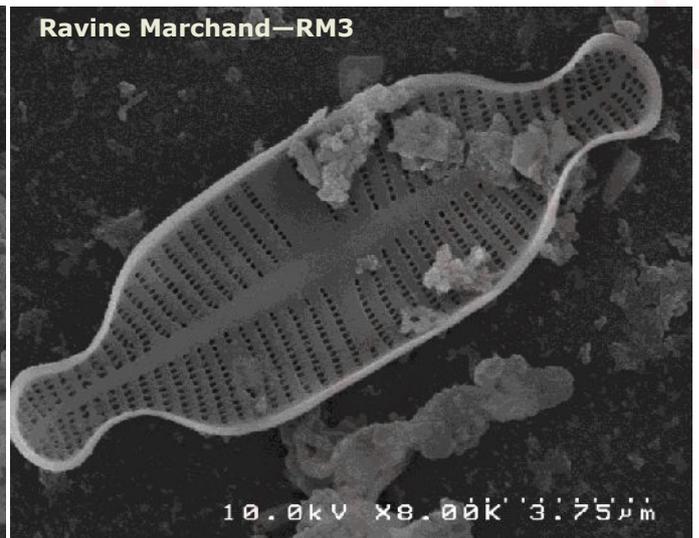
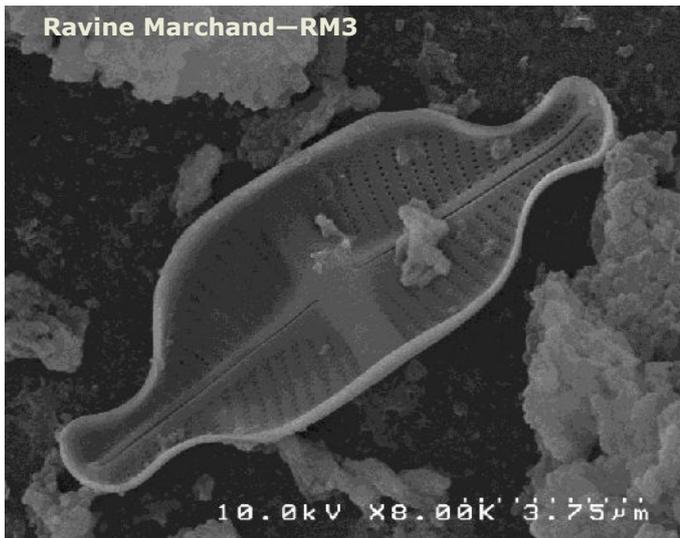
Référence : *Achnantheidium exiguum var.constrictum* (Grunow) Andresen Stoermer & Kreis 2000 DR15(2)p413 (=AECO=AEXGpp) Code SANDRE 10572



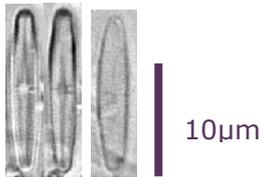
Ravine Marchand—RM3

Valves déformées

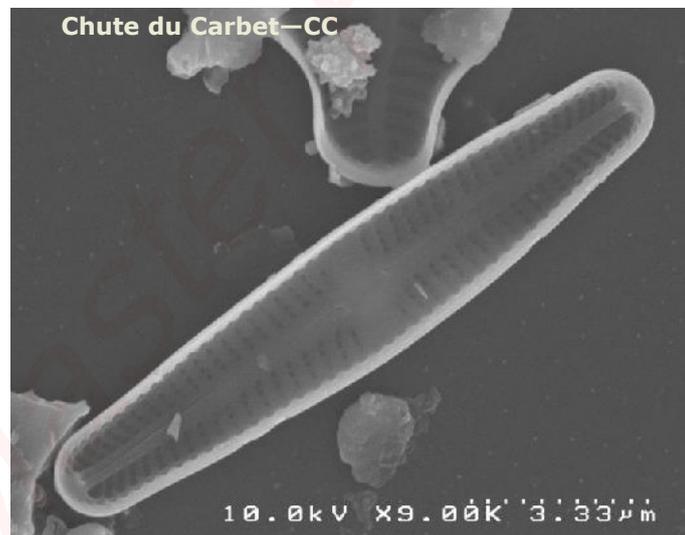




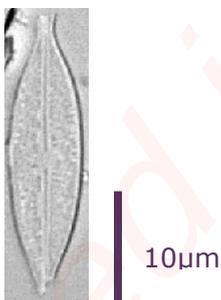
• *Achnanthisidum* sp20 (AD20)



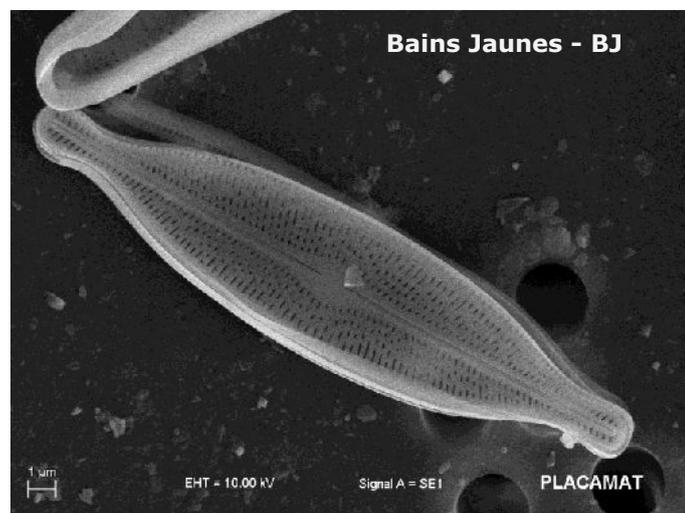
Chute du Carbet—CC



• *Brachysira garrensis* (BGAR)

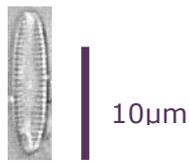


Bains Jaunes - BJ

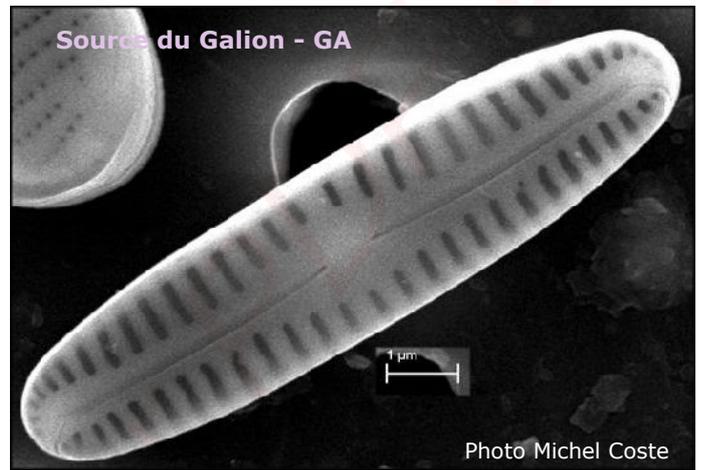


Référence : *Brachysira garrensis* (Lange-Bertalot & Krammer) Lange-Bertalot 1994 BD29 p29f19/7 47/14-29 (=AGAR) Code Sandre 11331

• ***Chamaepinnularia elongata* (CEGA)**



Chute du Carbet - CC



Référence : *Chamaepinnularia elongata* (Manguin) Metzeltin & Lange-Bertalot 2007 ID18 p62 figs.140:25-27 (= *N. brevissima* var. *elongata* Manguin 1952 p67f3:79) Code SANDRE 11749

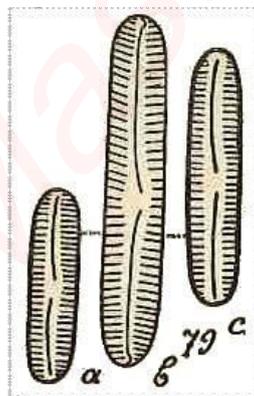
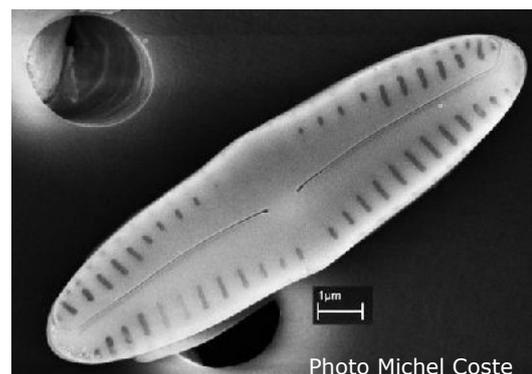


Figure 25 : *Chamaepinnularia elongata sensu* Manguin 1982

• ***Chamaepinnularia mediocris* (CHME)**



Chute du Carbet - CC

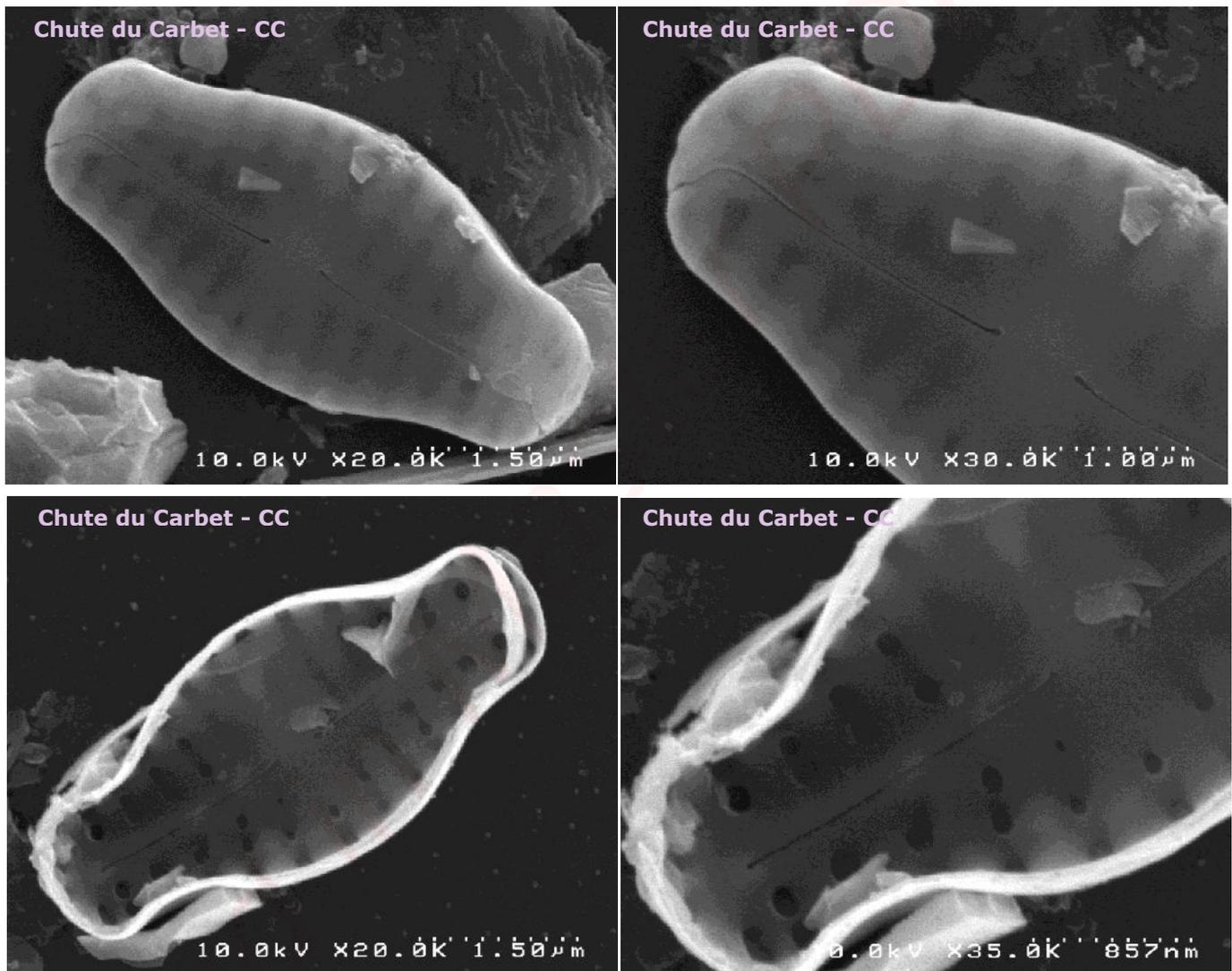


Référence : *Chamaepinnularia mediocris* (Krasske)Lange-Bertalot in Lange-Bertalot & Metzeltin 1996 ID2 p35 Vesela & Johansen 09 DR24(2):463 figs.117-119,196 Kulikovskiy & al.2010 BD55:21 fig.49/5 HWLB2011 p.128 fig.50/37-42 (=NMED=PMDC) Siver2011 ID22:75 pl.161/9-10 & 12 Code SANDRE 7213

• ***Navicula thermophila* (NTHP)**



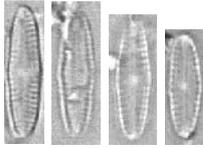
Chute du Carbet - CC



Référence : *Navicula thermophila* Manguin in Bourrelly & Manguin 1952 Algues d'eau douce de Guadeloupe:60 pl.3/59 MZLB07 ID18 p167 pl.139:46-55 (*Naviculadicta* ou *Chamaepinnularia* ?) Code SANDRE 16573

Cette espèce devrait être renommée *Chamaepinnularia thermophila* (Manguin in Bourrelly & Manguin) *nov. Comb*

- ***Chamaepinnularia* sp2 (CH02)**

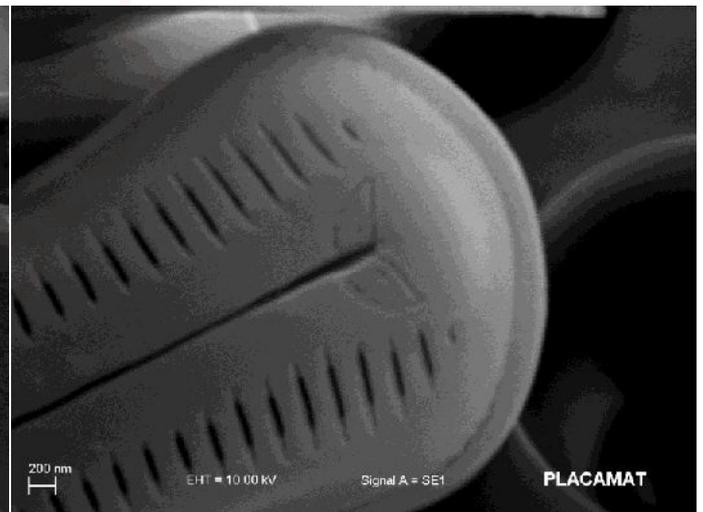
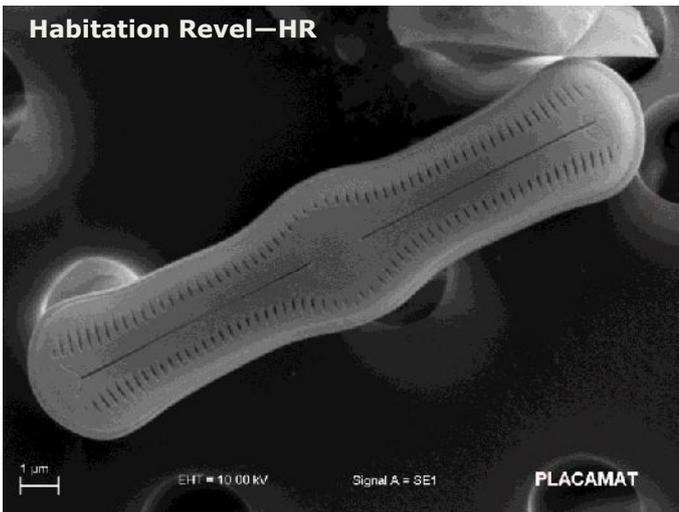


Bains Chauds du Matouba
- BCM Bassin

- ***Diadesmis arcuata* (DIAR)**



Habitation Revel - HR



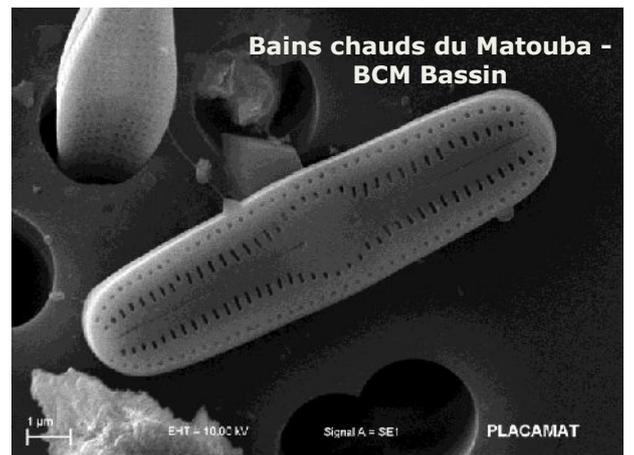
Référence : *Diadesmis arcuata* (Heiden) Lange-Bertalot 1998 BD38 p136 figs 29/4-5 VJV02 Bibl.Diat.46 p33f59/1-9 =HUAC(=NXAR) Code SANDRE 12433 a pour synonyme plus récent : *Humidophila arcuata* (Heiden) Lowe, & al.

Humidophila arcuata (Heiden) Lowe, Kocielek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014 DR29(4):357 (=NXAR basionym =DIAR)

- ***Diadesmis brekkaensis* (DBRE)**



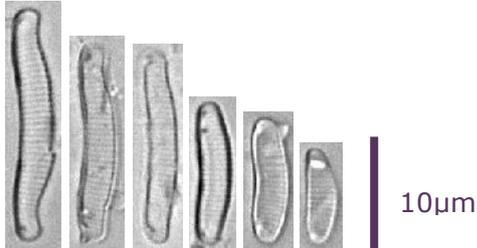
Bains chauds du Matouba
- BCM Bassin



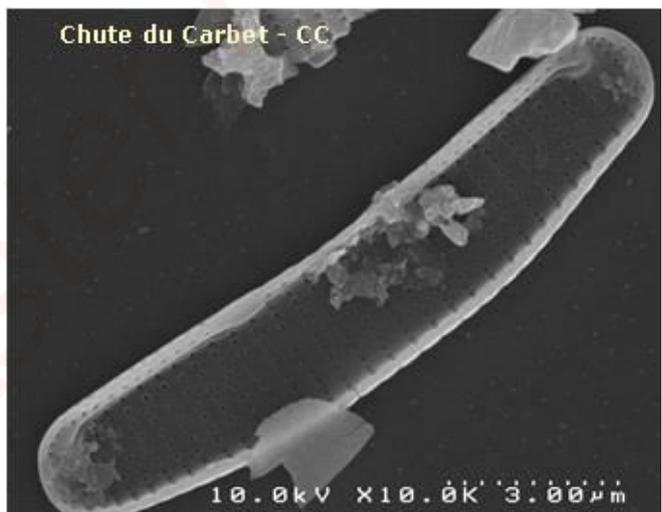
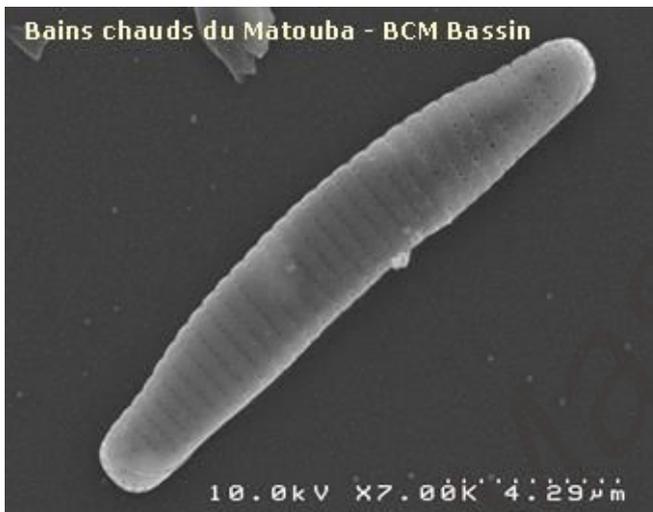
Référence : *Diadesmis brekkaensis* (J.B.Petersen) D.G. Mann 1990 p666 (p.530:a-i)MSLB95 BD32 p128f58/13 Werum&LB04 ID13 p135f58:1-13 62:30-32 70:7-8 Wojtal2013BD59:86pl41/1-8,15-16 =HBRE(=NBRK) LB01Diatom17p6f30-32.91.98-99 Code SANDRE 7384 a pour synonyme plus récent :*Humidophila brekkaensis* (HBRE).

Humidophila brekkaensis (Petersen) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014 DR29(4):357 (=DBRE basionym =NBRK).

- *Eunotia nanolusitanica* (ENNL)



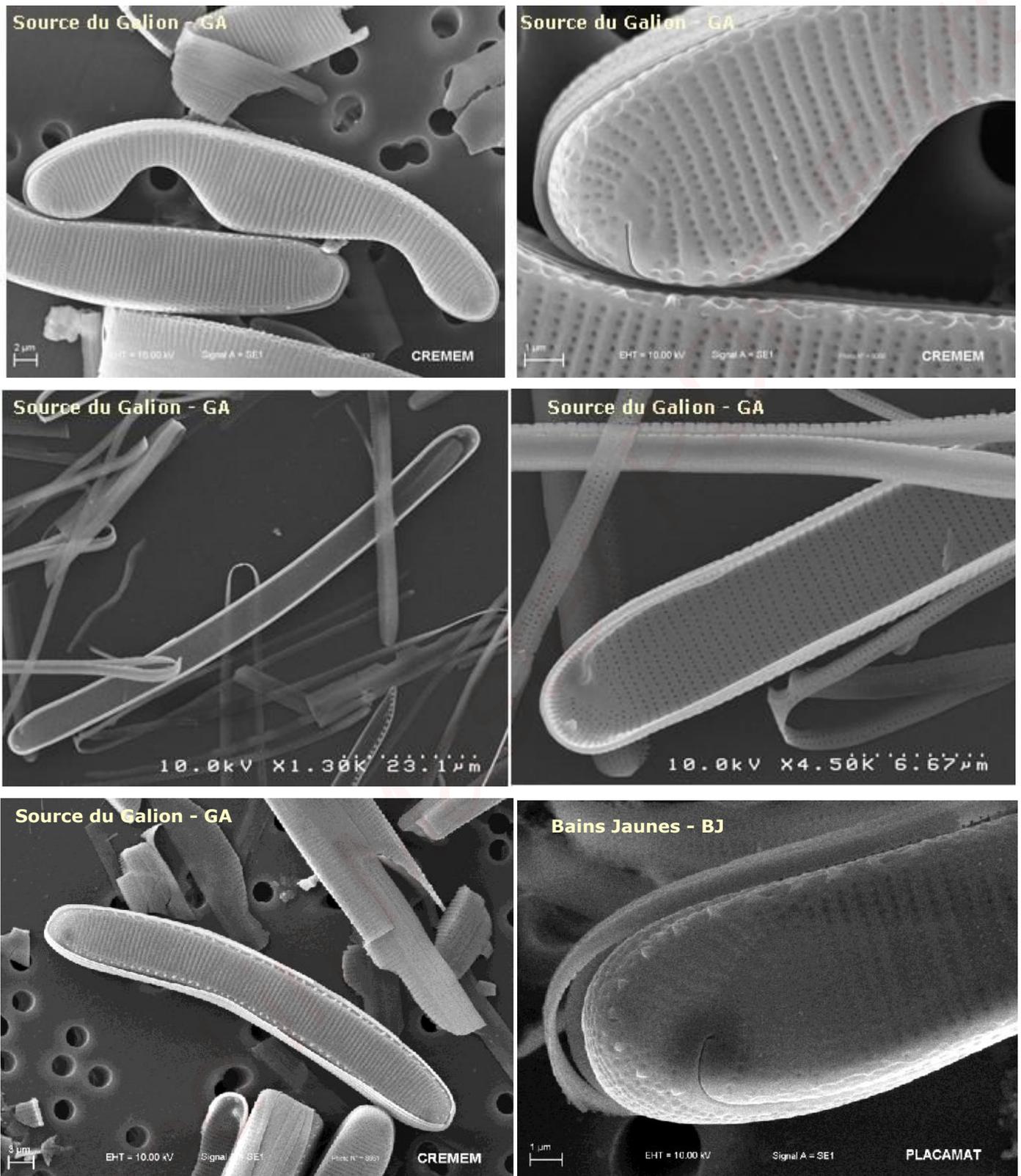
Bains chauds du Matouba -
BCM Bassin



• *Eunotia rabenhorstia* (ERAB)



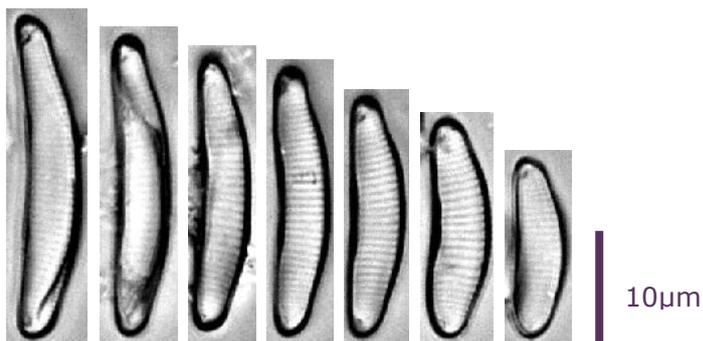
Source du Galion - GA



Référence : *Eunotia rabenhorstiana* (Grun.) Hustedt var. *rabenhorstiana* 1949 p72 Metz. & LB 98 ID5 p75f10:1-13 Siver & al.2011-ID22:131 Figs 103/1-9 104/1-6 105/1-2 (=DRBH *Desmogonium rabenhorstianum* Grun.) Code SANDRE 13237

(Nombreuses formes anormales source du Galion)

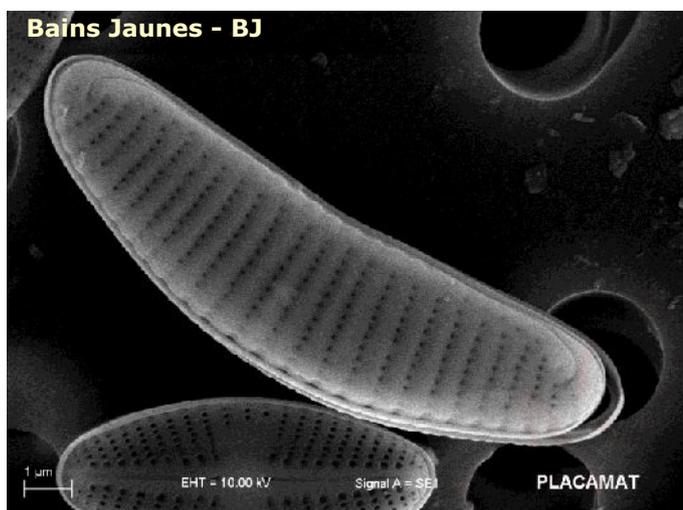
• *Eunotia rhomboidea* (ERHO)



Bains Jaunes - BJ

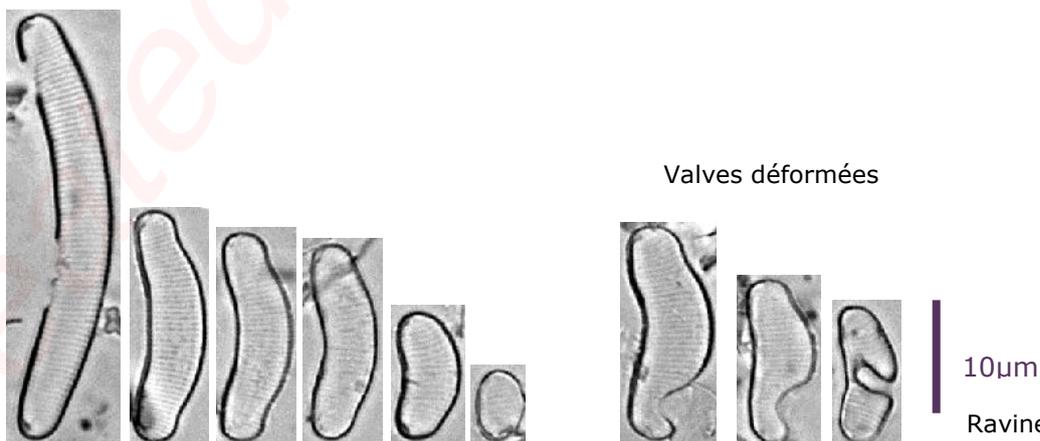
Habitation Revel- HR

Chute du Carbet - CC

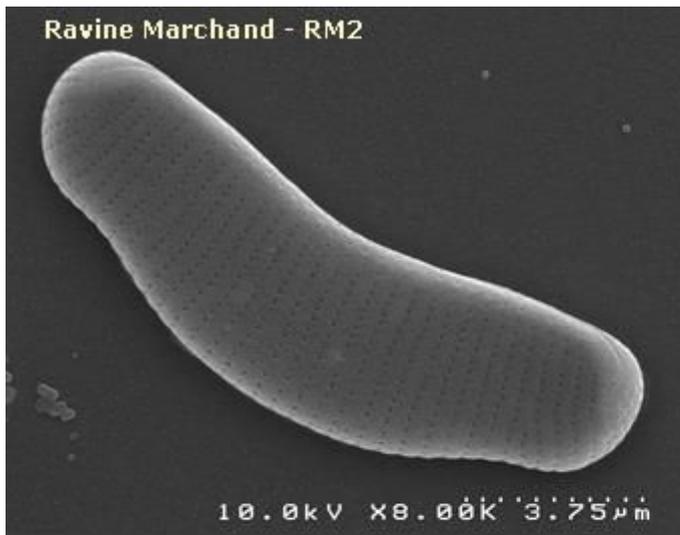


Référence : *Eunotia rhomboidea* Hustedt 1950 AH43:435 pl.36 f.34/41 S87:361f546:3-8 KLB91:223f162:3-4 164:11-2 Siver2005 ID14:87f26/35-40f28/1-4 LB11DE6f.41:1-49 42:1-8 43:12-14 (=ETEN ssH320pp.=EFAE=ETCP Chol58? =EIMI in CLM56) Furey & al.2011 BD56 pl.30/30-38 31/7-8 HWLB11p.235 pl.15/19-24 Code SANDRE 7560

• *Eunotia hepaticola* (EUHE)



Ravine marchand – RM2



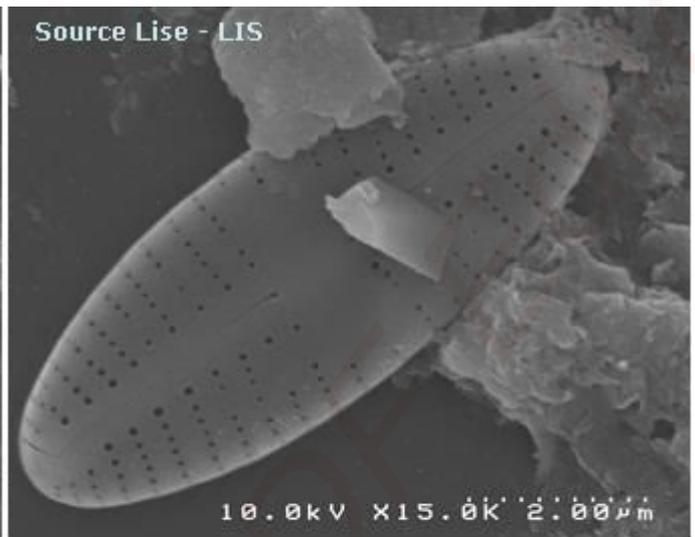
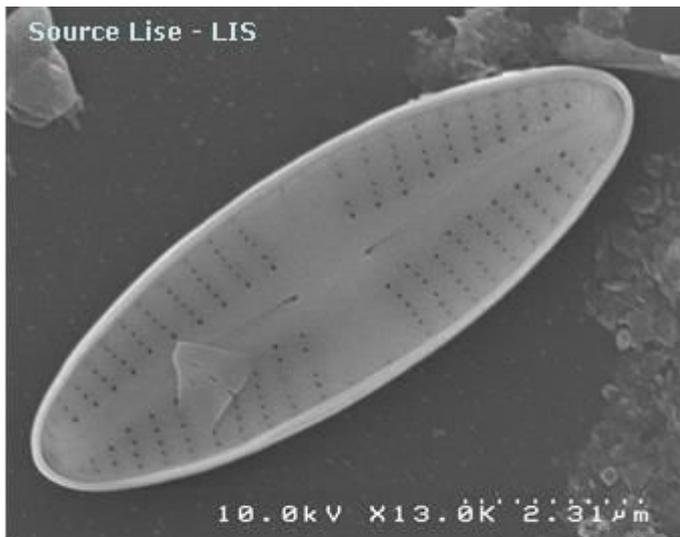
Référence : *Eunotia hepaticola* Lange-Bertalot & Wydrzycka 2001 Brenesia55-56 p8f1/1-9 Code SANDRE 12154

(nombreuses formes anormales Ravine Marchand)

• ***Eolimna sp12 (EO12)***

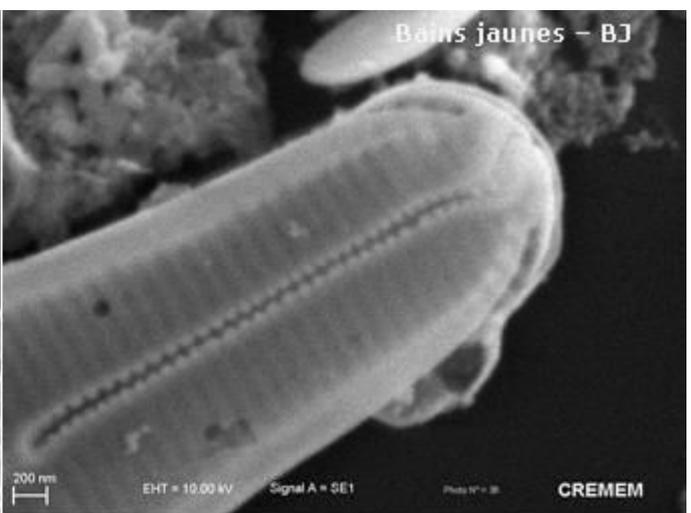


Source Lise - LIS

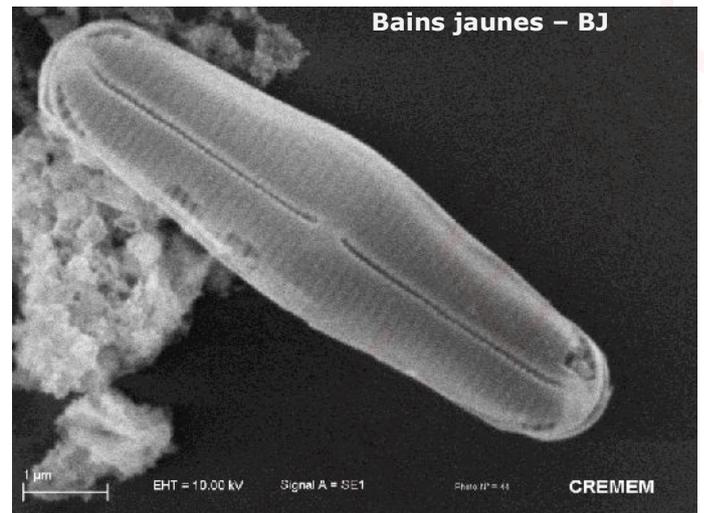
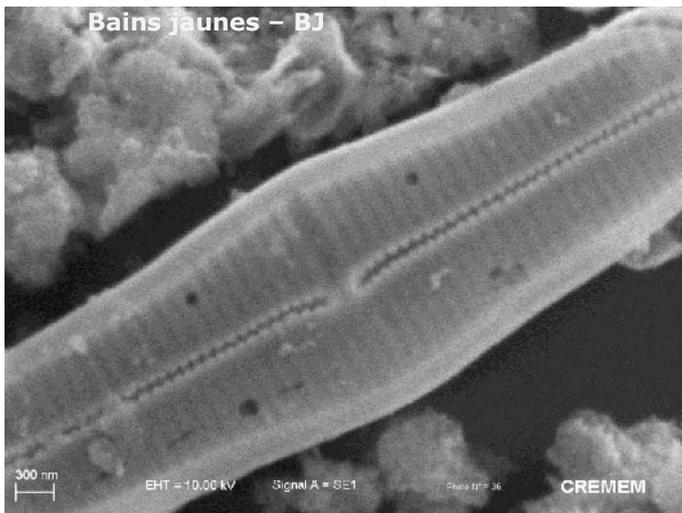


• ***Fallacia latelongitudinalis* (FLLG)**

Cette espèce n'a pas été observée en microscopie optique.



Bains jaunes - BJ

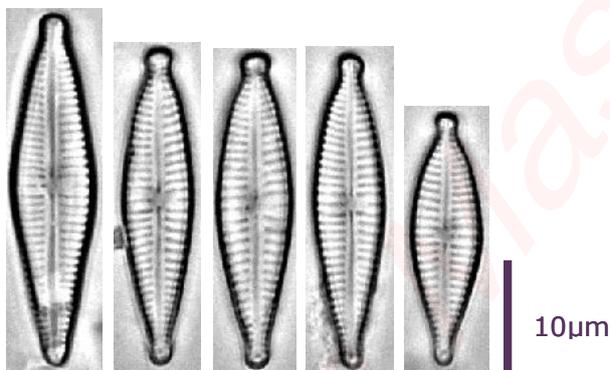


Référence : *Fallacia latelongitudinalis* (Patrick) Potapova 2013 PANSP162:7 Figs 18-21, 25-27 (proche de FECU) (=NLLG)

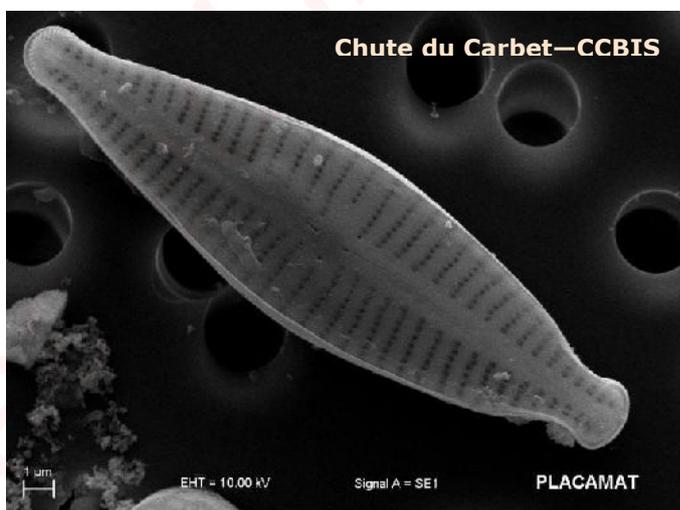
• ***Gomphonema sp45***

L'espèce la plus proche est probablement: *Gomphonema lagenula* (GLGN)

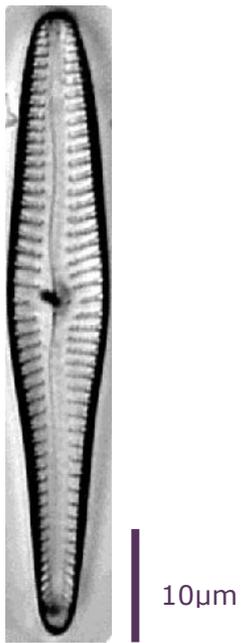
Référence : *Gomphonema lagenula* Kützing 1844 p85pl.30/60 MZLB98ID5f151/12-17 Rumrich2000 ID9pl133/6-7MZLB05ID15pl145/1-8,12-18 Bey&Ector2013:914-915Figs1-31 (=GPLA=GPARpp) Abarca & al.2014PlosOne9(1)Figs 2/26-28 3/4 5/6 Code SANDRE13983



Chute du Carbet - CCBIS



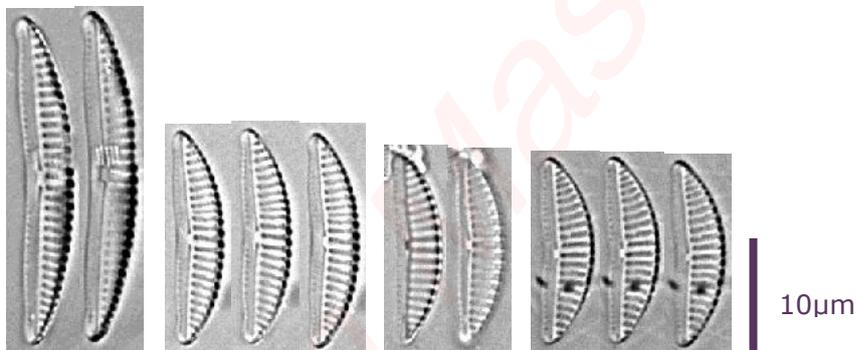
• ***Gomphonema subclavatum* (GSCL)**



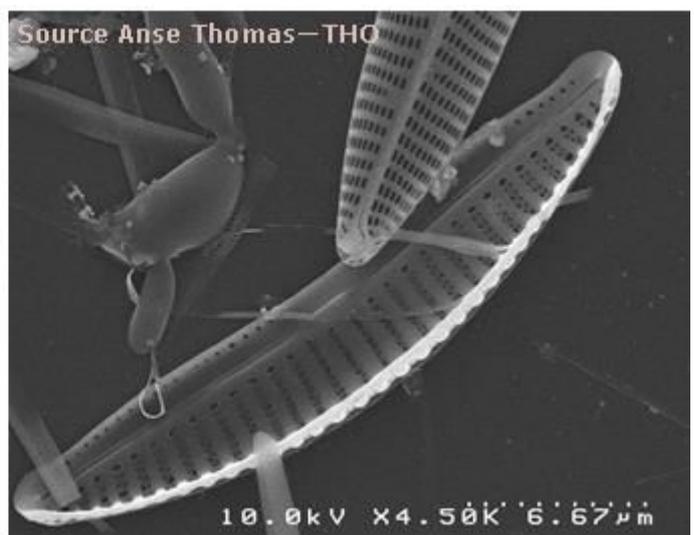
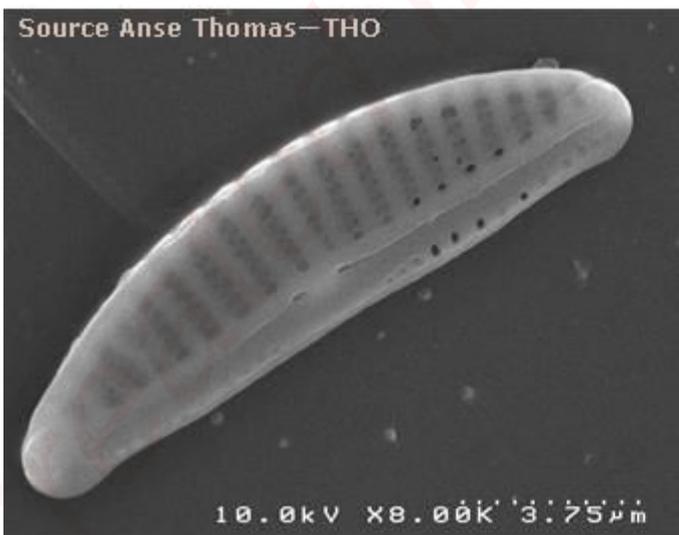
Sources du Galion - GA

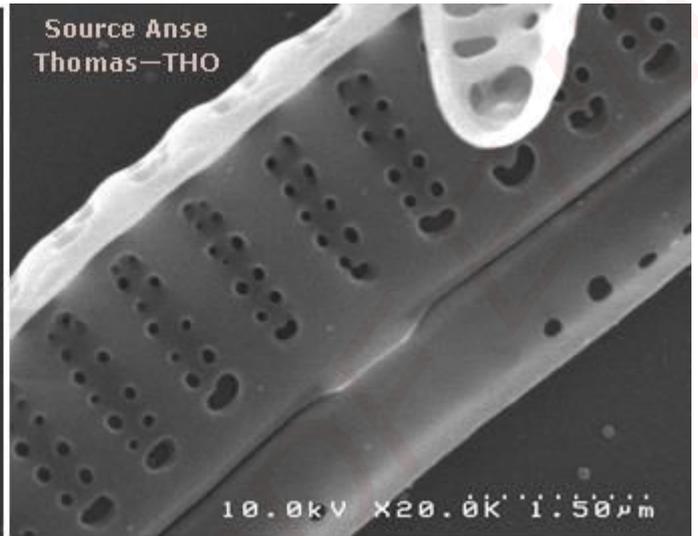
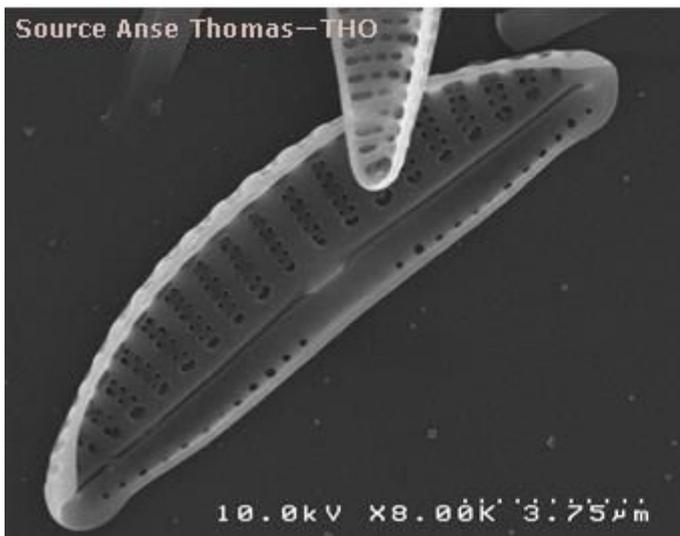
• ***Amphora sp11* (AM11)**

Il s'agit probablement d'un nouveau taxon pour la science

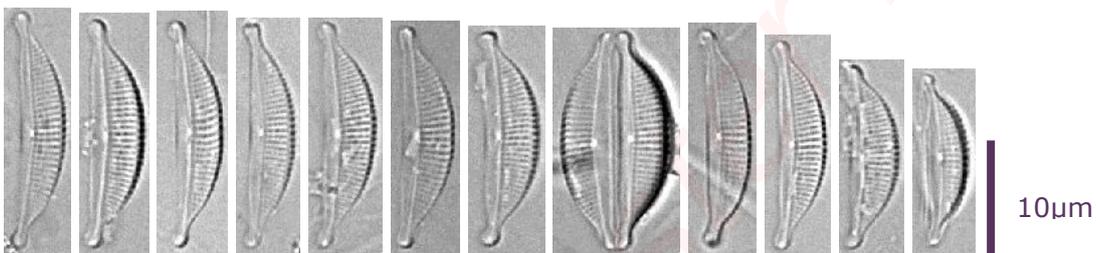


Source Anse Thomas—THO

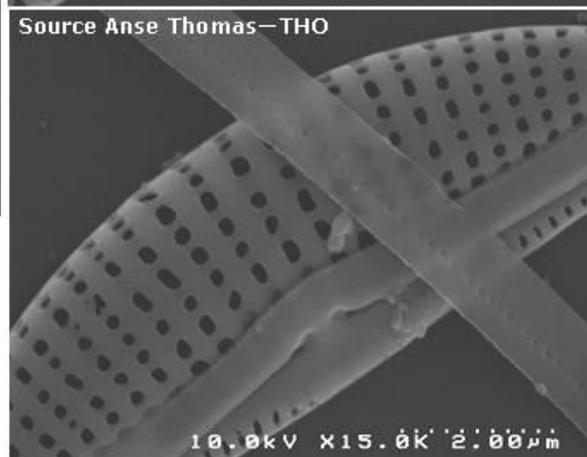
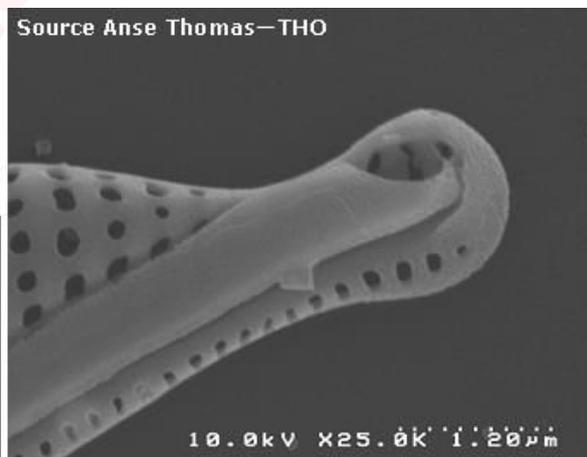
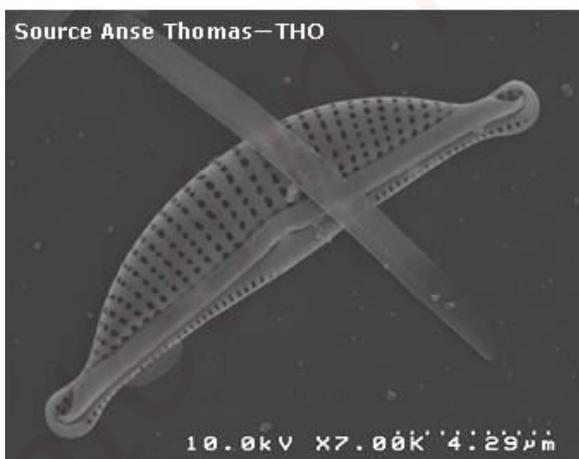




• *Halamphora subholsatica* (HSHO)

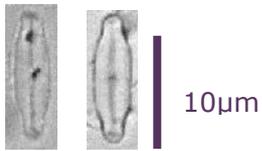


Source Anse Thomas—THO

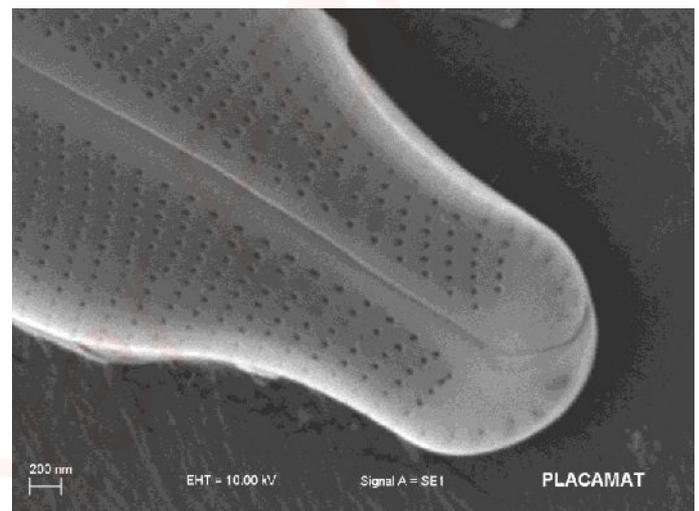
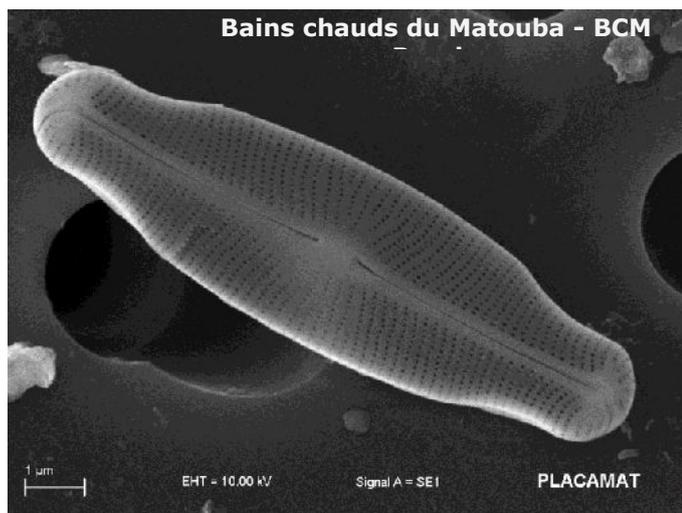


Référence : *Halamphora subholsatica* (Krammer) Levkov 2009 DE5:228 fig.100:15-24 228:1-5 229:1-5
Wojtal2013 BD59:106pl.92/1-9 (=ASHO=AHOL ss KLB86 figs.152:1-6) Code SANDRE 28460

- ***Navicula arvensoides* (NARD)**

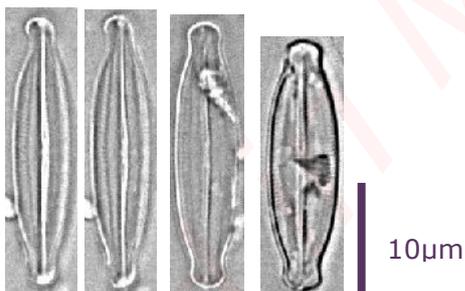


Bains chauds du Matouba
- BCM Bassin

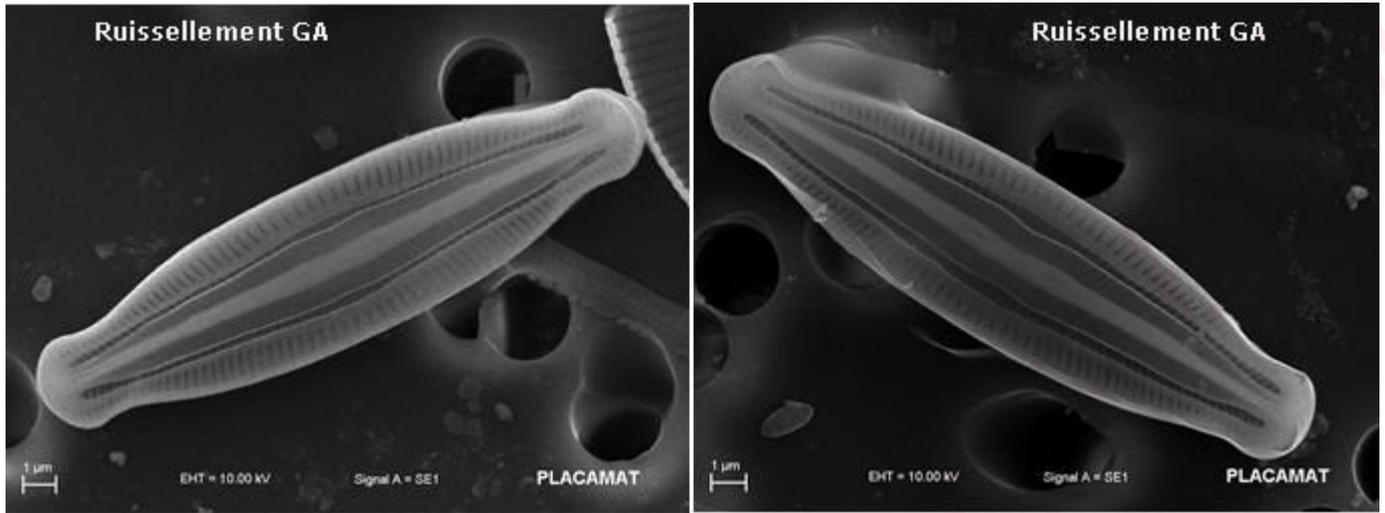


Référence : *Navicula arvensoides* Hustedt 1945 p.219 f.41/7 H61 p.84 f.1225 S87 p.330 pl.508/22-24
Code SANDRE 14928

- ***Navicula guadalupensis* (NGDL)**



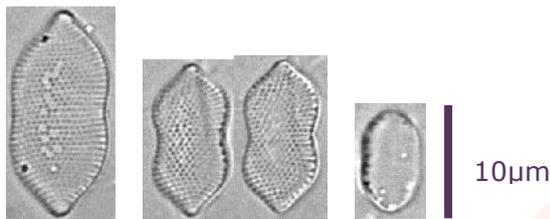
Ruissellement paroi
Source du Galion



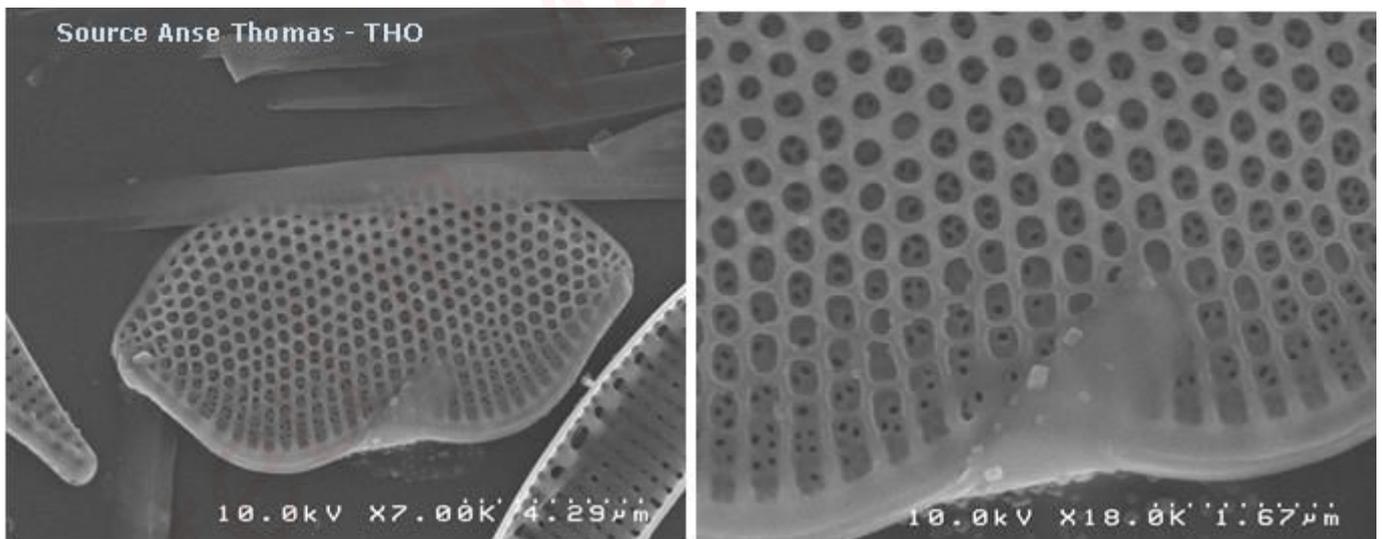
Référence : *Navicula guadalupensis* Manguin in Bourrelly & Manguin 1952 Algues d'eau douce de Guadeloupe:62 pl.3 fig.64a-b =MGUA Code SANDRE 27918

Il s'agit d'un *Microcostatus* proche de *M. Krasskei* et *M. naumanii*. Il conviendrait de l'appeler *Microcostatus guadalupensis*.

• ***Nitzschia ruda* (NRDA)**



Source Anse Thomas - THO

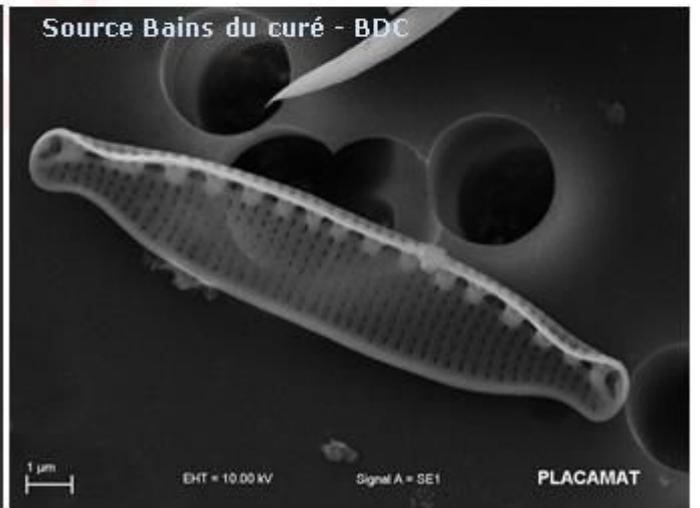
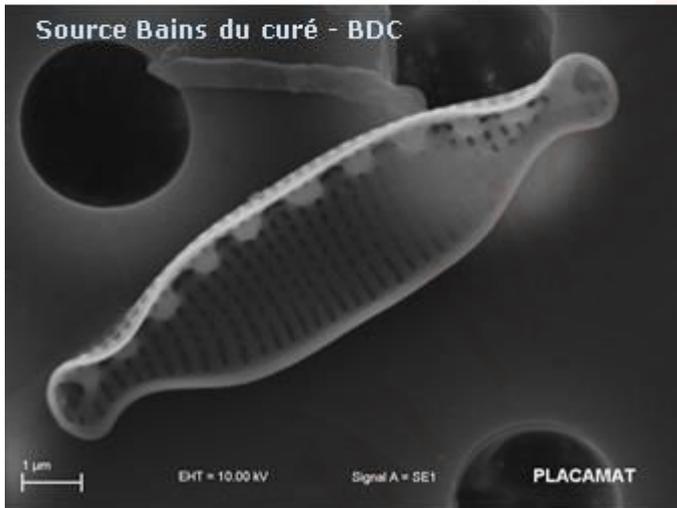
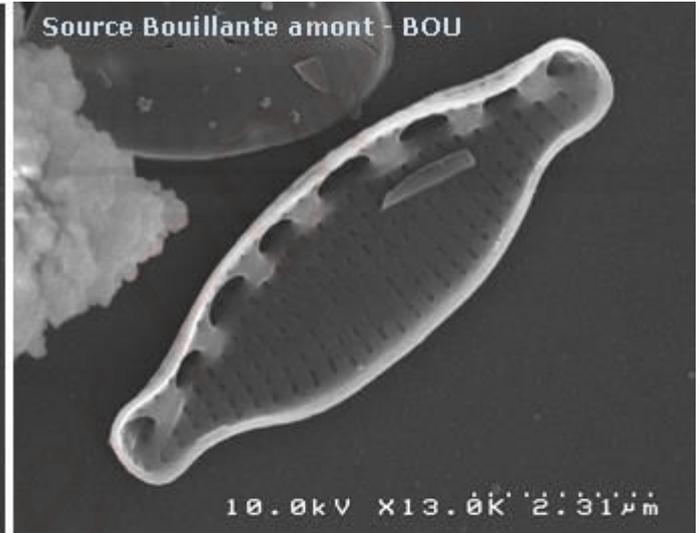
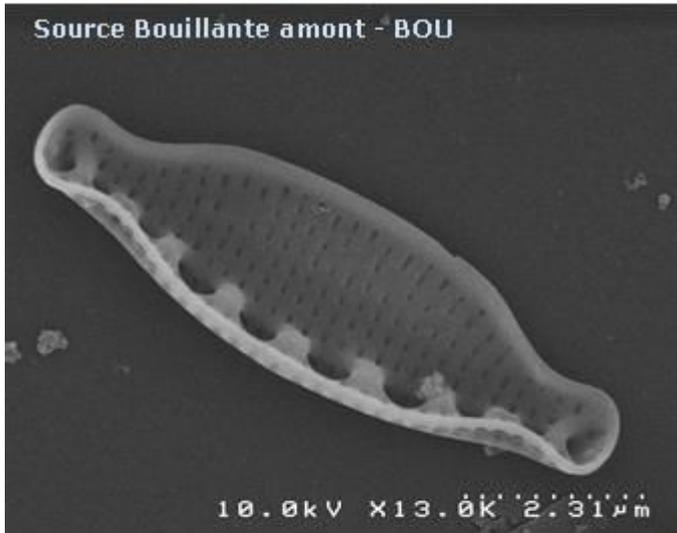


Référence : *Nitzschia ruda* Cholnoky 1968 p79f144-146 LBK87 p47f25:12-13 Wit00 ID7 p403f189:76 Hein & al.08 ID19:86 fig.58/15 (=PRUD) Code SANDRE 9024

• *Nitzschia microcephala* (NMIC)

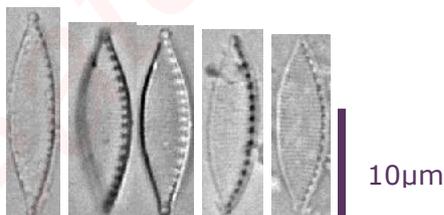


Source Bouillante
amont - BOU

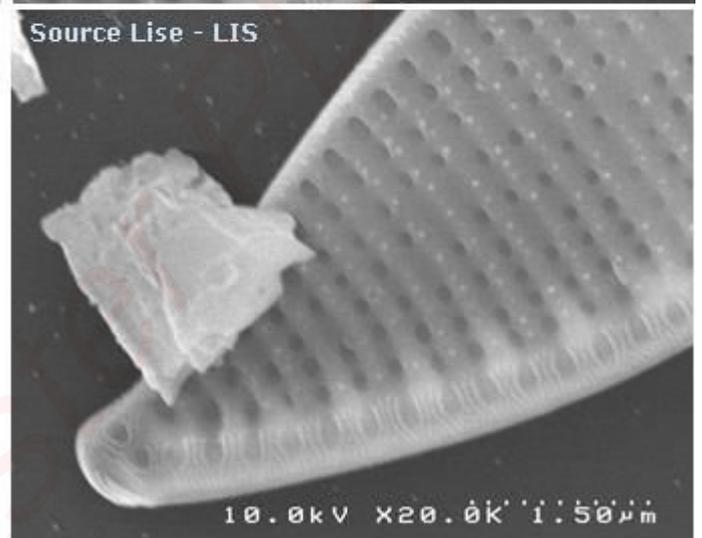
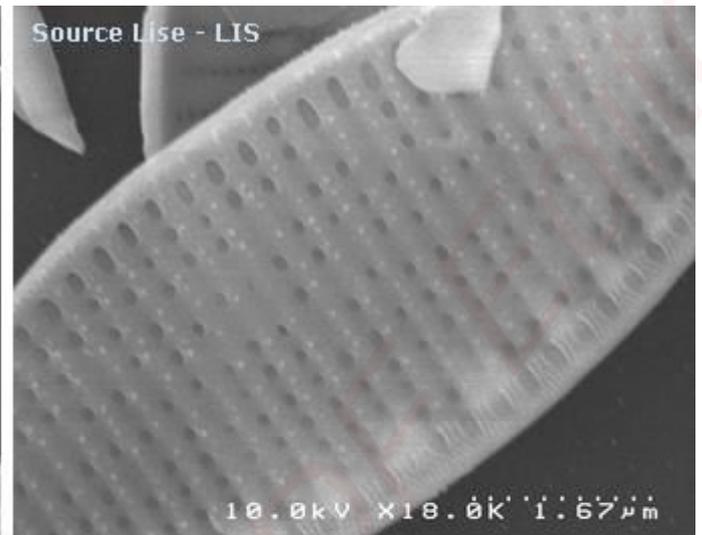


Référence : *Nitzschia microcephala* Grunow in Cleve & Moller 1878 CLM139 KLB88:120f.83/10-18
Witkowski 2000 ID7:858f.208/5-11 MZLB05ID15f214/12-19 Hein08 ID19:84 fig.58/14
HWLB2011:452 pl.111/41-47 Bey&Ector2013:1062 Figs1-37 Code SANDRE 8968

• *Nitzschia sp63* (NI63)



Source Lise - LIS



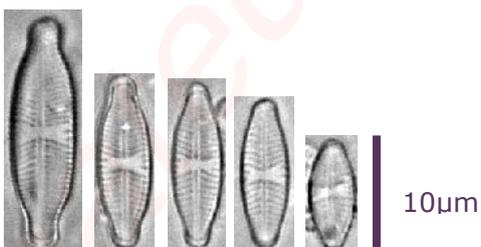
Référence : Taxon morphologiquement proche de *Nitzschia supralitorea* (NZSU), *N. desertorum* (NDES) et *N. fonticola* var. *pelagica* (NFPE).

Nitzschia supralitorea Lange-Bertalot 1979 AHS56 (2)f.26-27 KLB88:97f.70/14-21 Rumrich2000 ID9f170/29 HWLB2011:464 pl.112/66-71 Bey&Ector2013:1090 Figs1-11 Code SANDRE 9049 (25-32 st et 14-20 fib./10µm)

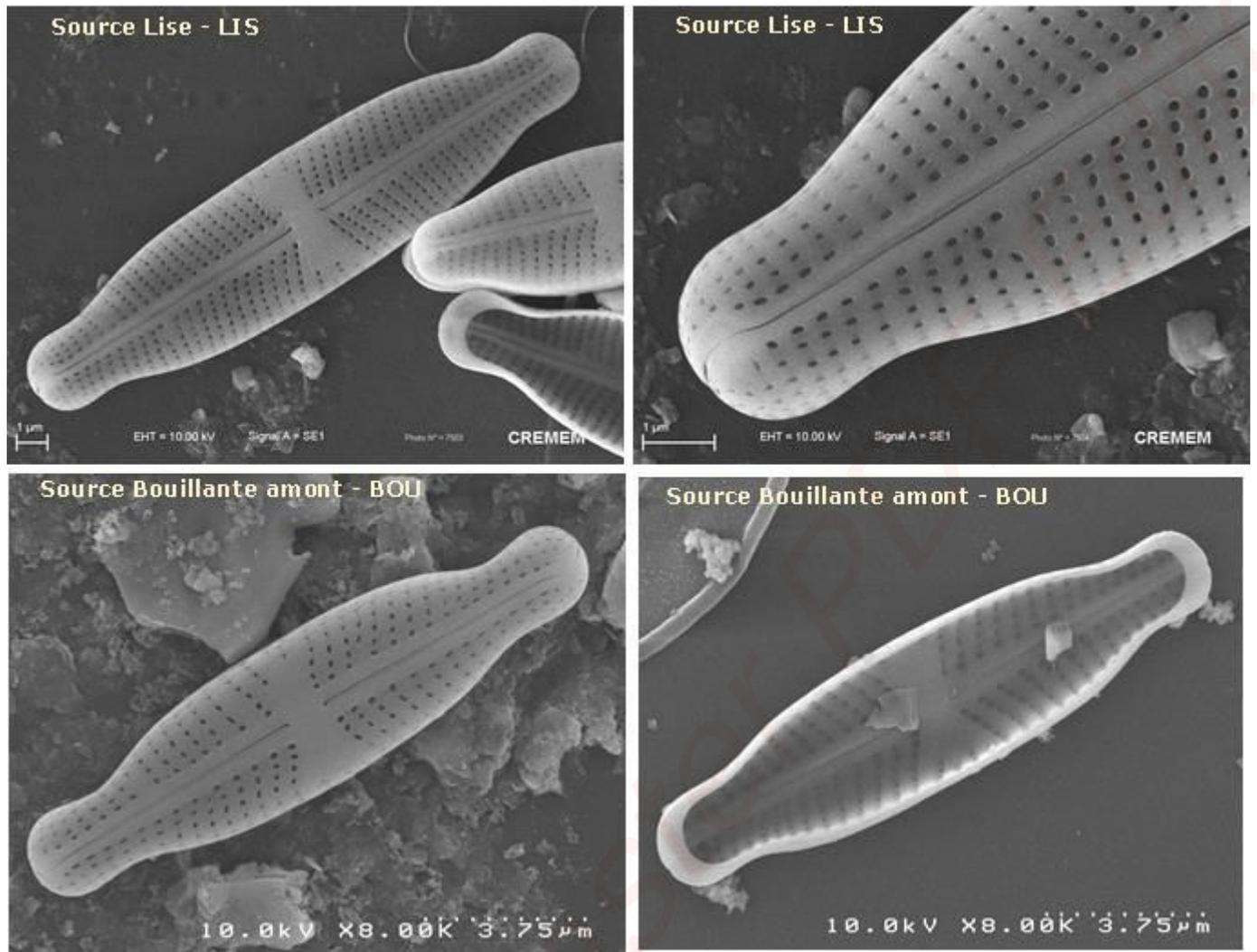
Nitzschia desertorum Hustedt 1949 Hydrobiologia 2(1):50 fig.53-55 KLB88 p99f.70 (10-13)S87 p354f537/19-23 Lavoie&al.08:176 pl.56 Code SANDRE 8870 (25-28 st. 10-15 fib. En 10µm)

Nitzschia fonticola Grunow var. *pelagica* Hustedt in Schmidt & al. 1924 ASA349/15-16 KLB88 p107f.70(19-20 22-24) Code SANDRE 8893 (24-33 st. 9-14 fib. /10µm)

- ***Stauroneis rostrata* (STRS)**

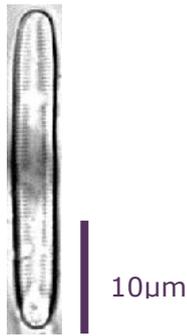


Source Lise - LIS

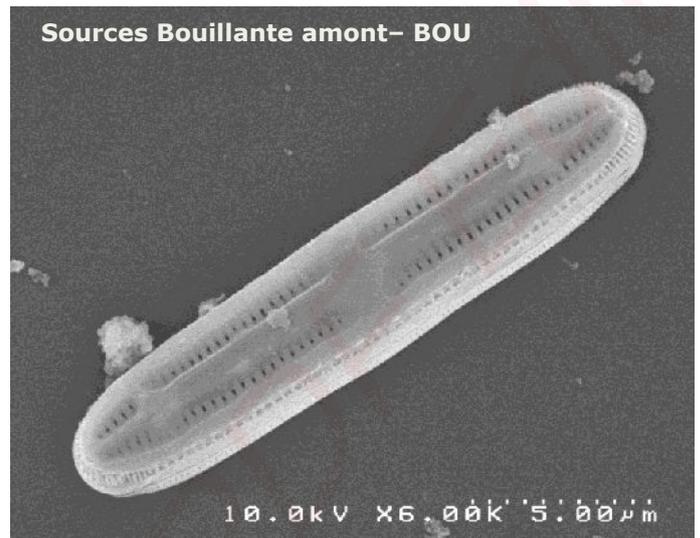


Référence : *Stauroneis rostrata* (Hustedt) Metzeltin & Lange-Bertalot 2007 ID18 p249 (=SKON=NKON=NRUR bas. H37AHS15p238f17:27-28 ASA402:39-46) Code SANDRE 18683

Diadesmis cf. platensis (DPLT) remplace *Diadesmis sp8* (DI08) déjà identifié



Sources Bouillante amont - BOU



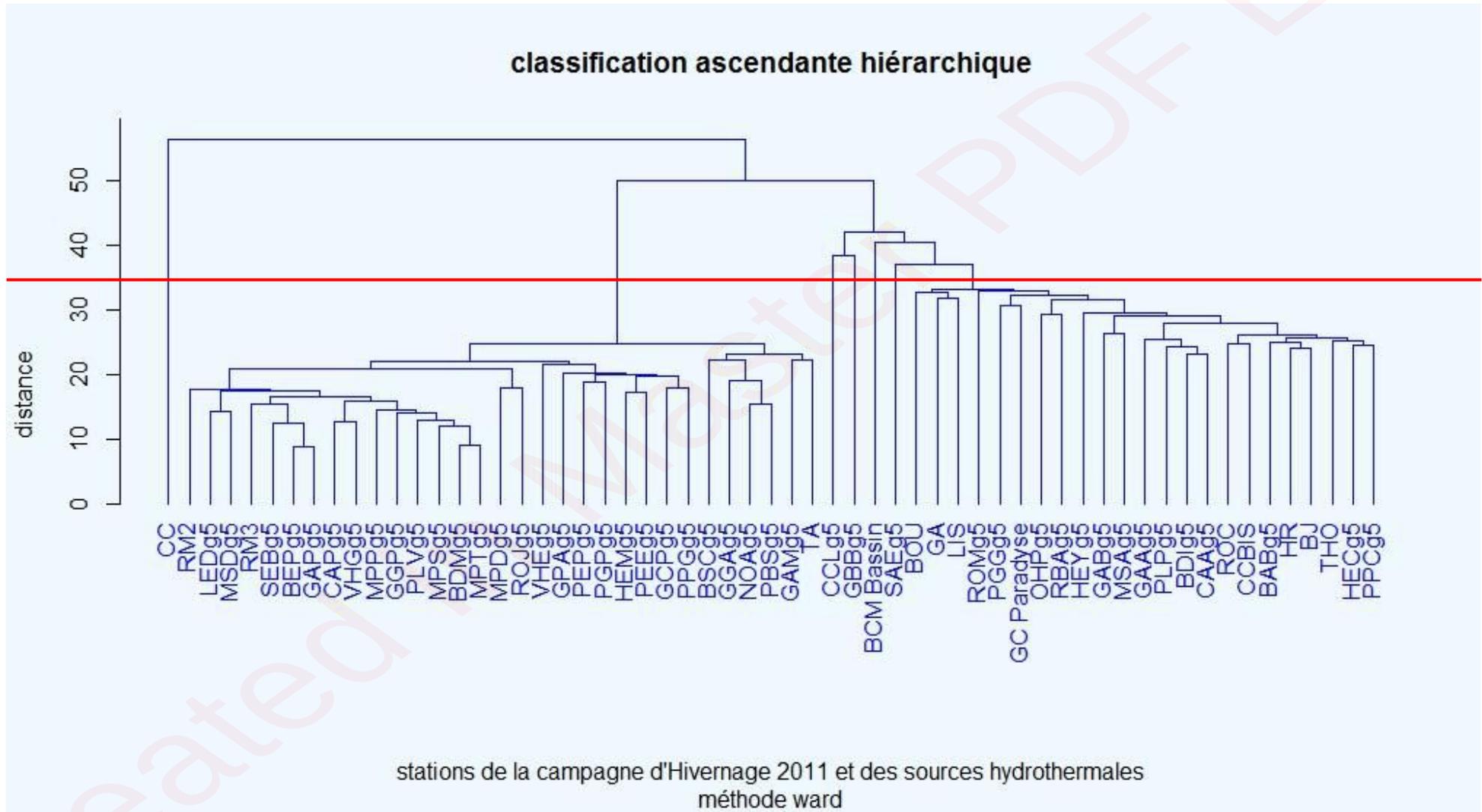
Référence : *Diadesmis platensis* Metzeltin, Lange-Bertalot & Garcia-Rodriguez 2005 ID15 p43f56:1-10 =HUPL Code SANDRE11817,

a pour synonyme plus récent *Humidophila platensis* (Metzeltin, Lange-Bertalot & García-Rodríguez) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014 DR29(4):359(=DPLT basionym).

5.3.2. Analyse des données diatomées

Afin de mettre en évidence les particularités du peuplement diatomique des sources, une classification ascendante hiérarchique a été réalisée à partir des inventaires de la campagne d'hivernage 2011 (dernière campagne du programme de mise au point de l'IDA) et des sources hydrothermales. L'arbre obtenu est présenté par la Figure 26.

Figure 26 : Résultat de la CAH réalisée sur les inventaires issus de la campagne 5 du programme de mise au point de l'IDA et de l'étude des sources hydrothermales



Cette analyse montre que le peuplement de la chute du Carbet se distingue nettement des autres inventaires. Cette source se distingue effectivement par une très forte minéralité.

En revanche les autres sources sont mélangées au sein de groupes qui incluent de nombreuses autres stations du réseau de surveillance et du réseau complémentaire (stations plus polluées ou au contraire plus préservées). Les sources, bien qu'hébergeant indéniablement des taxons non inventoriés sur le territoire de la Guadeloupe, hébergent également des taxons plus cosmopolites à l'échelle de la Guadeloupe, ne permettant pas de les dissocier franchement des autres sites. Cependant elles hébergent parfois des taxons d'alerte qui sont considérés comme indicateurs de mauvaise qualité biologique et qui pénalisent les valeurs indicielles quand ils sont présents au sein d'un inventaire.

NB : Les taxons d'alerte sont les taxons très abondants dans les classes de qualité 1 et 2 (mauvaise à médiocre) et au contraire très rarement observés dans les eaux de bonne à très bonne qualité, dans le jeu de données sur lequel est fondé l'Indice Diatomique Antillais.

Les taxons d'alerte inventoriés dans les sources sont :

- ***Achnanthisdium exiguum* (ADEG)**

Ce taxon est abondant dans les sources : Habitation Revel, Chute du Carbet, Chute du Carbet Bis (paroi), Lise, et Bouillante amont.

Les sources Habitation Revel et Lise sont peut-être également contaminées par la matière organique provenant de la décomposition de la litière végétale présente.

Ce taxon est considéré comme aérophile selon Van Dam (taxon subaérien). C'est peut-être ce qui explique son abondance sur 2 parois (Chute du Carbet Bis et Bouillante amont).

- ***Diadesmis confervacea* (DCOF)**

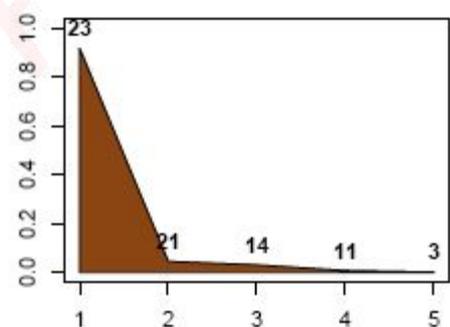
Ce taxon est abondant dans les sources : Ravine Marchand (RM3), Bains Jaunes et Lise.

Ces sources ont une minéralité et une thermalité différente. Les sites de prélèvements ne sont pas non plus comparables.

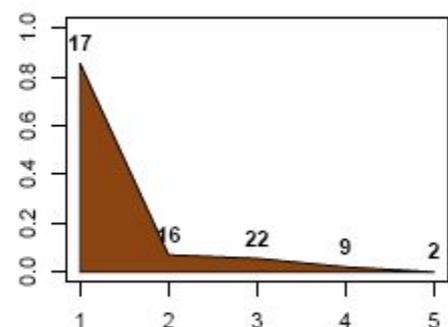
- ***Eolimna sp5* (EO05)**

Ce taxon est abondant dans la Ravine Roche.

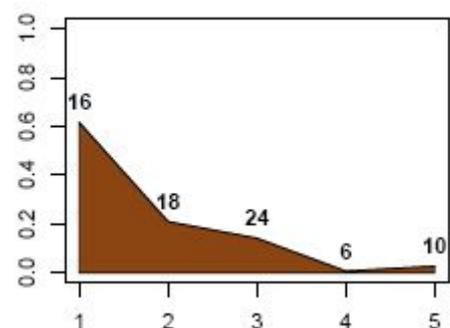
espèce ADEG



espèce DCOF

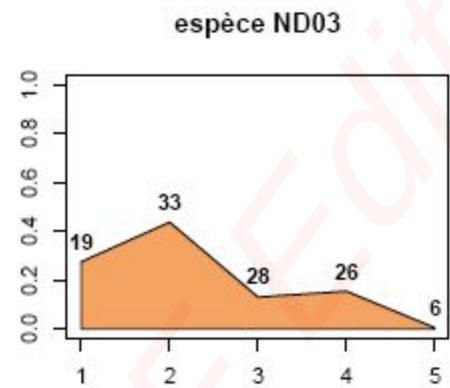


espèce EO05



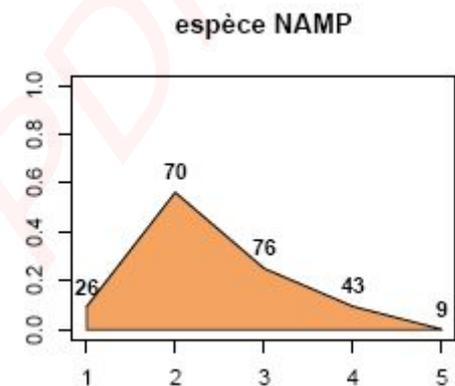
- ***Naviculadicta seminulum* forme3 (ND03)**

Ce taxon est présent sans être abondant dans la source Chute du Carbet Bis (paroi) et la Ravine Roche.



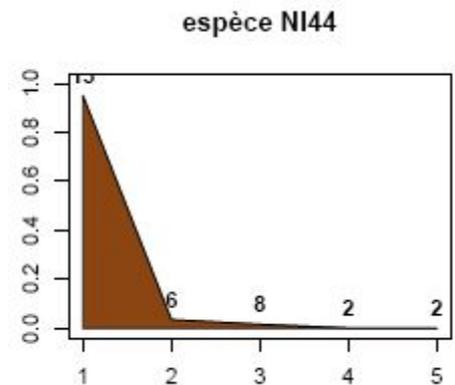
- ***Nitzschia amphibia* (NAMP)**

Ce taxon est abondant dans la source Habitation Revel.



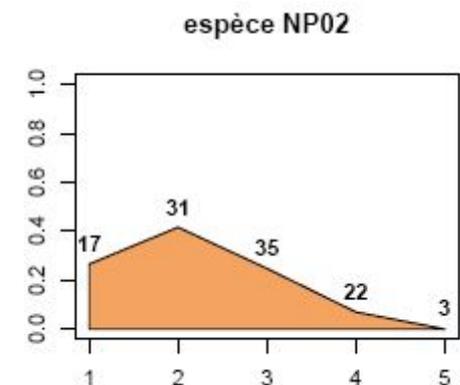
- ***Nitzschia sp44* (cf. *Nitzschia frustulum*) (NI44)**

Ce taxon est particulièrement dominant dans la Source de l'Anse Thomas, qui est salée. Il conviendrait de réexaminer son écologie afin de vérifier si il ne s'agit pas d'une espèce haline.



- ***Nitzschia palea* forme 2 (NP02)**

Ce taxon est abondant dans la source Lise.



La présence et l'abondance de ces taxons d'alerte dans les sources hydrothermales montre, comme on pouvait l'attendre, que l'influence thermique, au même titre que l'influence marine est une condition d'exclusion de la mise en œuvre de l'Indice Diatomique Antillais.

5.3.3. Les formes tératogènes

Le Tableau 6 rend compte de la proportion des formes tératogènes observées dans les échantillons.

Tableau 6 : Proportion de formes tératogènes

	forme tératogène (‰)
RM3	5
TA	1
GA	62
ROC	10
BCM Bassin	3
HR	2
BJ	8
CC	4
GC Paradyse	0
LIS	14
BOU	3

Ces proportions sont globalement assez élevées. Les proportions couramment observées sont de l'ordre de 3‰. Les sources du Galion, la Ravine Roche et la source Lise hébergent donc un nombre particulièrement important de formes tératogènes. Toutefois, le jeu de données ne permet pas de montrer une corrélation entre ces proportions et les mesures des minéraux et métaux réalisées.

A titre d'exemple, la meilleure corrélation obtenue concerne le Chlore mais n'est pas pour autant statistiquement valide (Figure 27).

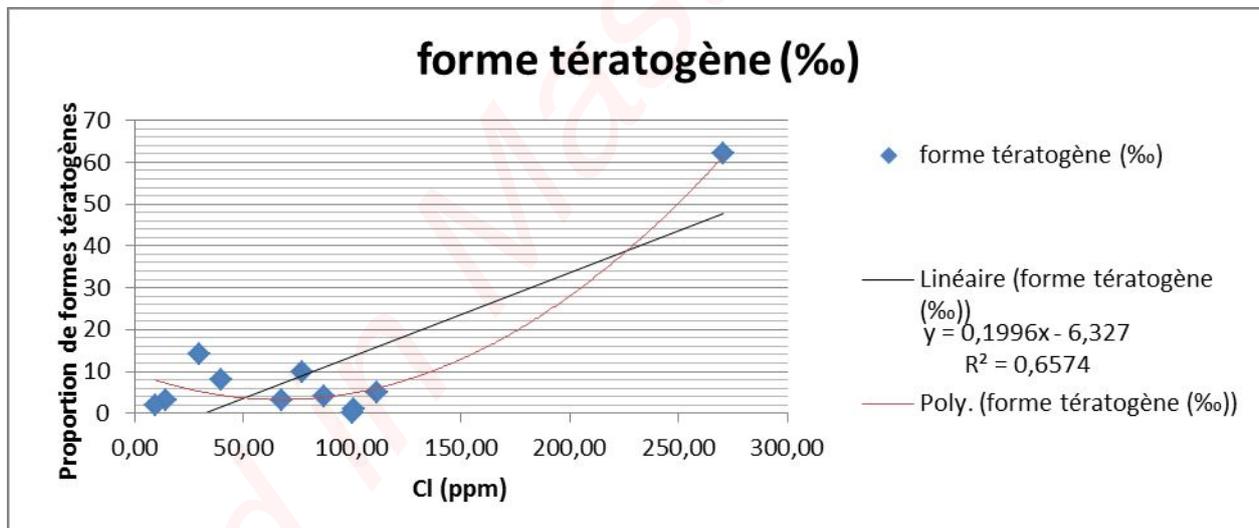


Figure 27 : Représentation graphique des proportions de formes tératogènes en fonction des valeurs de Chlore (en ppm) mesurées pour chaque source

L'analyse de réplicats serait nécessaire pour déterminer les variables explicatives des proportions anormalement élevées de formes tératogènes observées dans les sources.

6. Conclusion

L'étude des sources a permis de mettre en évidence la présence de micro-organismes photosynthétiques ou non même dans les conditions les plus extrêmes (oligotrophie, température élevée, acidité).

Bien que la biodiversité au sein de chaque compartiment soit faible, les cyanobactéries, bactéries et archae identifiées semblent inféodées à ces conditions environnementales particulières et n'ont jamais été observées sur le reste du territoire guadeloupéen voire à une plus grande échelle. Leur étude a donc permis d'incrémenter la biodiversité connue de la Guadeloupe.

En ce qui concerne les diatomées, ce genre d'étude naturaliste n'avait pas eu lieu depuis la mission P. Allorge en 1936 qui avait permis à Manguin et Bourrelly de décrire plusieurs taxons dont certains observés ici pour la seconde fois depuis cette date : *Navicula guadalupensis* Manguin in Bourrelly & Manguin et *Navicula thermophila* Manguin in Bourrelly & Manguin. Compte tenu de l'évolution de la taxonomie, et à la lumière des observations réalisées en microscopie électronique, ces 2 espèces devraient maintenant appartenir à 2 autres genres, respectivement *Microcostatus* et *Chamaepinnularia*. Une espèce du genre *Amphora* (numérotée sous le n°11) ne correspond à aucune espèce décrite dans la bibliographie consultée, elle est potentiellement nouvelle pour la science.

Outre ces nouveaux taxons, cette étude a révélé des interactions biologiques et peut-être biochimiques originales et propres aux conditions environnementales extrêmes. Ces interactions entre êtres vivants participent également à la biodiversité et présentent souvent un grand intérêt pour la science.

L'étude de ces organismes s'est révélée accessible et pourra grâce à ce premier programme de recherche être proposée dans le cadre d'autres projets de recherche fondamental.

Références bibliographiques

- Becker, R. A., Chambers, J. M. and Wilks, A. R. 1988 *The New S Language*. Wadsworth & Brooks/Cole.
- Bourrelly, P. et Manguin, E. 1952 *Algues d'eau douce de la Guadeloupe*. Centre National de la Recherche Scientifique, Société d'Édition d'Enseignement Supérieur, Paris. 281 pp
- BRGM 2007 Inventaire et caractérisation des sources hydrothermales de Guadeloupe. Rapport final BRGM/RP-55060-FR. Février 2007
- Esguerra O.C., L. Rivognac, A.Georges & M.Horn. Les formes tératologiques chez les diatomées. *Diatomania* n° 10 – Septembre 2006. P : 18-31
- Feuillard M. 2011 *La Soufrière de la Guadeloupe. Un volcan et un peuple*. Ed Jasor
- Forschner, S.R., Sheffer, R., Rowley D.C., and Smith D.C. 2009 Microbial diversity in Cenozoic sediments recovered from the Lomonosov Ridge in the Central Arctic Basin. *Environmental Microbiology* 11 : 630-639
- Komárek J. et Komárková J. 2004 Taxonomic review of the cyanoprokaryotic genera *Planktothrix* and *Planktothricoides*. *Czech Phycology, Olomouc* 4 : 1-18
- Komorowski J-C., Boudon G., Semet M., Beauducel F., Anténor Habazac C., Bazin S., Hammouya G., 2005, Volcanic hazard atlas of the lesser Antilles, pp. 66-104, in: S.R. Unit (Ed.), University of the West Indies, St Augustine, Trinidad, W.I.
- Lane, D. J. 1991 16S/23S rRNA sequencing, p. 115-147. In E. Stackebrandt and M. Goodfellow (ed.), *Nucleic acid techniques in bacterial systematics*. John Wiley & Sons, New York, NY.
- Morales E. A. 2005 Observations of the morphology of some known and new fragilaroid diatoms (Bacillariophyceae) from rivers in the USA. *Phycological Research* 53 : 113-133
- Morales E.A., Ector L., Fernandez E., Novais M.H., Hlubikova D., Hamilton P.B., Blanco S., Vis M.L., Kociolek J.P. 2011 The genus *Achnantheidium* Kütz (Achnanthesales, Bacillariophyceae) in Bolivian streams : a report of taxa found in recent investigations. *Algological Studies* 136/137 : 89-130
- Morales E.A., Vis M.L. 2007 Epilithic diatoms (bacillariophyceae) from cloud forest and alpine streams in Bolivia, South America. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 156 : 123-155.
- Nisbet M. et Verneaux J. 1970 Composantes chimiques des eaux courantes. Discussion et proposition de classe en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques. *Annales de Limnologie* 6(2) : 161-190
- Nübel, U., Garcia-Pichel, F., et Muyzer, G. 1997 PCR primers to amplify 16S rRNA genes from Cyanobacteria. *Applied and Environmental Microbiology* 63 : 3327-3332
- OVSG Poster OVSG Antilles « Sismicité et volcanisme aux Antilles »
http://www.ipgp.fr/~beaudu/download/Poster_OVSG_Antilles.pdf
- Le volcanisme de la Basse-Terre. <http://www.ipgp.fr/pages/0303040705.php>
- Wydrzycka U., Lange-Bertalot H. 2001 Las diatomeas (Bacillariophyceae) acidofilas del rio Agrio y sitios vinculados con su cuenca, volcan Poas, Costa Rica. *BRENESIA* 55-56. pp68

ANNEXES

Annexe 1 : Fiches stations

Source du Massif de la Soufrière

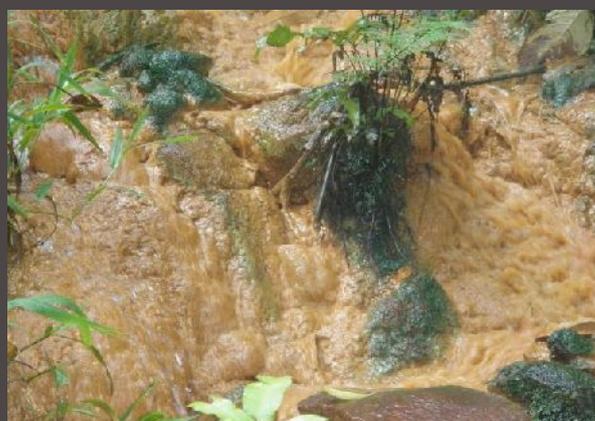
Ravine Marchand RM3



amont



aval



site de
prélèvement



Informations prélèvement :

N° Etude : 2644
Date : 04/07/2013
Heure : 10h10
Préleveur : EFR
Commune : Saint Claude
Localisation :

Coordonnées géographiques (WGS84)

X : 1774060
Y : 642014

Données physico-chimiques *in situ*

Température (en °C) : 44,5
O₂ dissous (en mg/L) :
Taux de saturation en O₂ :
pH : 5,35
Conductivité (en µS/cm) : 1666

Commentaires :

Colmatage=dépôt d'oxydes de fer ; biofilm vraisemblablement constitué essentiellement de cyanobactéries + petites zones plus brunâtres (diatomées?) ; séparation difficile entre le biofilm et les dépôts sédimentaires métalliques

Source du Massif de la Soufrière

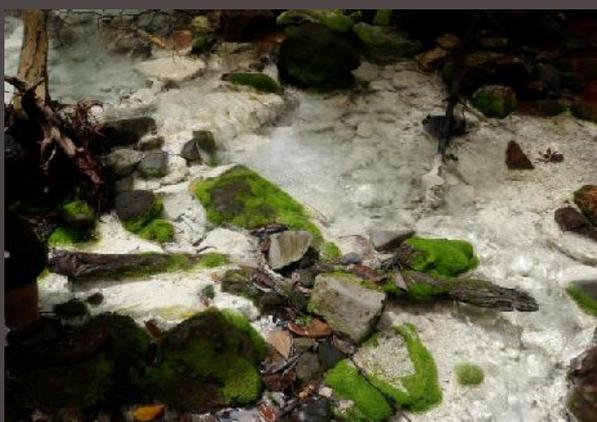
Ravine Marchand RM2

amont



aval

site de
prélèvement



Informations prélèvement :

N° Etude : 2644
Date : 04/07/2013
Heure : 11h00
Préleveur : EFR
Commune : Saint Claude
Localisation :

Coordonnées géographiques (WGS85)

X : 1774031
Y : 642357

Données physico-chimiques *in situ*

Température (en °C) : 21,4
O₂ dissous (en mg/L) :
Taux de saturation en O₂ :
pH : 3,4
Conductivité (en µS/cm) : 560

Commentaires :

Sous le sédiment blanc, biofilm apparemment riche en diatomées + cyanobactéries + algues vertes

Source du Massif de la Soufrière

Source Tarade TA

amont



aval

site de
prélèvement



Informations prélèvement :

N° Etude : 2644
Date : 04/07/2013
Heure : 13h45
Préleveur : EFR
Commune : Saint Claude
Localisation :

Coordonnées géographiques (WGS85)

X : 1773502
Y : 642497

Données physico-chimiques *in situ*

Température (en °C) : 40,4
O₂ dissous (en mg/L) :
Taux de saturation en O₂ :
pH : 5,88
Conductivité (en µS/cm) : 2130

Commentaires :

Colmatage par biofilm épais riche en cyanobactéries (couleur vert à vert fluo voire noir)

Source du Massif de la Soufrière

Source Galion GA



amont



aval



site de
prélèvement



Informations prélèvement :

N° Etude : 2644
Date : 05/07/2013
Heure : 9h15
Préleveur : EFR
Commune : Saint Claude
Localisation :

Coordonnées géographiques (WGS87)

X : 1773529
Y : 642892

Données physico-chimiques *in situ*

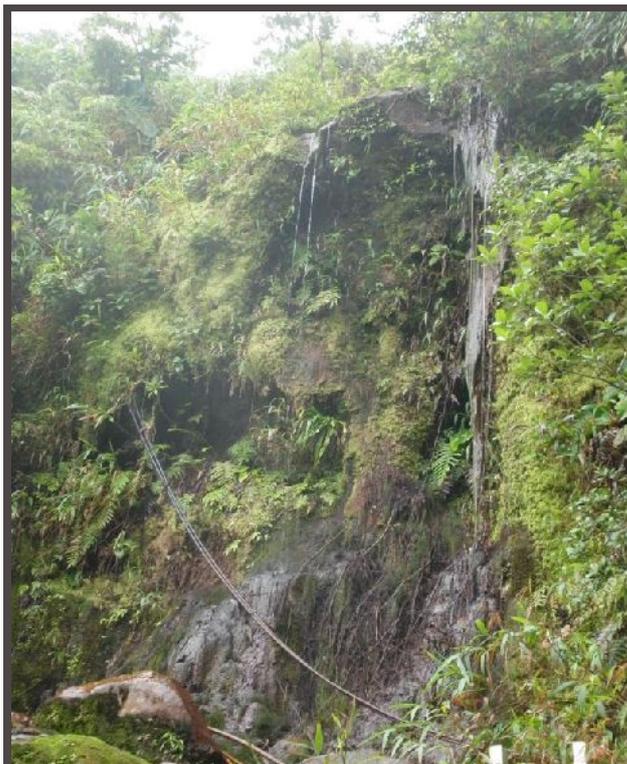
Température (en °C) : 46,3
O₂ dissous (en mg/L) :
Taux de saturation en O₂ :
pH : 4,8
Conductivité (en µS/cm) : 2970

Commentaires :

Prélèvement sur la paroi principale à l'aval de la source

Source du Massif de la Soufrière

Source Galion Ruissellement GA



amont



aval

site de
prélèvement



Informations prélèvement :

N° Etude : 2644
Date : 05/07/2013
Heure : 9h30
Préleveur : EFR
Commune : Saint Claude
Localisation :

Coordonnées géographiques (WGS88)

X : 1773529
Y : 642892

Données physico-chimiques *in situ*

Température (en °C) : 27,7
O₂ dissous (en mg/L) :
Taux de saturation en O₂ :
pH : 3,7
Conductivité (en µS/cm) : 1383

Commentaires :

Prélèvement des algues filamenteuses sur la paroi à la droite immédiate de la source

Source du Massif de la Soufrière

Ravine Roche ROC



amont



aval



site de
prélèvement



Informations prélèvement :

N° Etude : 2644
Date : 05/07/2013
Heure : 12h30
Préleveur : EFR
Commune : Saint Claude
Localisation :

Coordonnées géographiques (WGS89)

X : 1773895
Y : 642020

Données physico-chimiques *in situ*

Température (en °C) : 32,1
O₂ dissous (en mg/L) :
Taux de saturation en O₂ :
pH : 7,44
Conductivité (en µS/cm) : 958

Commentaires :

Paroi rocheuse très haute et large, fort débit, peu de matériel biologique ; Dépôt minéraux/sédiments très encroûtants et solides recouvrant toutes les parois ; Matériel biologique brossé directement sur la paroi ; Température assez élevée, pH seulement légèrement acide à cause des échanges gazeux avec l'atmosphère

Source du Massif de la Soufrière

Bains Chauds du Matouba

BCM bassin



amont



aval



site de
prélèvement

Informations prélèvement :

N° Etude : 2644
Date : 10/07/2013
Heure : 10h15
Préleveur : EFR
Commune : Saint Claude
Localisation :

Coordonnées géographiques (WGS810)

X : 1774938
Y : 641841

Données physico-chimiques *in situ*

Température (en °C) : 32,5
O₂ dissous (en mg/L) :
Taux de saturation en O₂ :
pH : 6,45
Conductivité (en µS/cm) : 734

Commentaires :

Prélèvements sur des substrats présents dans le bassin et surtout au niveau du seuil de l'évacuation du bassin

Source du Massif de la Soufrière

Habitation Revel HR



amont



aval

site de
prélèvement



Informations prélèvement :

N° Etude : 2644
Date : 10/07/2013
Heure : 12h15
Préleveur : EFR
Commune : Saint Claude
Localisation :

Coordonnées géographiques (WGS811)

X : 1774923
Y : 639384

Données physico-chimiques *in situ*

Température (en °C) : 31,5
O₂ dissous (en mg/L) :
Taux de saturation en O₂ :
pH : 6,53
Conductivité (en µS/cm) : 280

Commentaires :

Prélèvements sur des substrats présents dans le bassin et surtout sur les parois du bassin après vidange partielle
+ Prélèvements de touffes de cyanobactéries accrochées à des débris végétaux dans le bassin

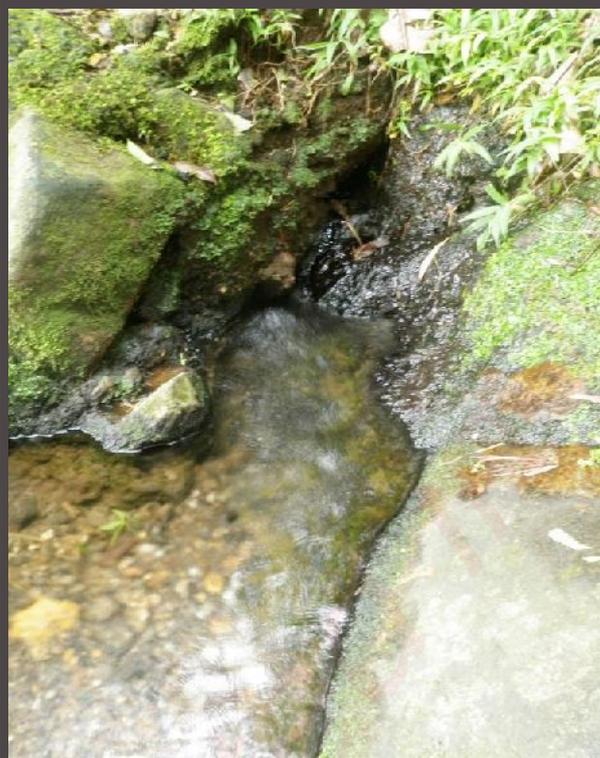
Source du Massif de la Soufrière

Bains Jaunes BJ

Les Bains Jaunes



Le griffon à G
des bains



site de
prélèvement

Informations prélèvement :

N° Etude : 2644
Date : 10/07/2013
Heure : 13h15
Préleveur : EFR
Commune : Saint Claude
Localisation :

Coordonnées géographiques (WGS812)

X : 1773247
Y : 642277

Données physico-chimiques *in situ*

Température (en °C) : 29,1
O₂ dissous (en mg/L) :
Taux de saturation en O₂ :
pH : 5,66
Conductivité (en µS/cm) : 710

Commentaires :

Prélèvement dans le griffon à G des bassins car ceux-ci sont vidangés et curés tous les jeudi et le griffon prélevé a sensiblement la même composition minérale

Source du Massif de la Soufrière

Chute du Carbet CC



amont



site de
prélèvement

Informations prélèvement :

N° Etude : 2644
Date : 11/07/2013
Heure : 13h15
Préleveur : EFR
Commune : Capesterre BE
Localisation :

Coordonnées géographiques (WGS813)

X : 1774250
Y : 644892

Données physico-chimiques *in situ*

Température (en °C) : 43,5
O₂ dissous (en mg/L) :
Taux de saturation en O₂ :
pH : 6,66
Conductivité (en µS/cm) : 1217

Commentaires :

Prélèvement dans bassines à l'aval direct de la source (très chaude). Abondance de cyanobactéries (+bulles gazeuses trappées dans le biofilm)

Source du Massif de la Soufrière

Chute du Carbet CCBis



amont



site de
prélèvement

Informations prélèvement :

N° Etude : 2644
Date : 11/07/2013
Heure : 13h00
Préleveur : EFR
Commune : Capesterre BE
Localisation :

Coordonnées géographiques (WGS814)

X : 1774250
Y : 644892

Données physico-chimiques *in situ*

Température (en °C) : ~32
O₂ dissous (en mg/L) :
Taux de saturation en O₂ :
pH :
Conductivité (en µS/cm) :

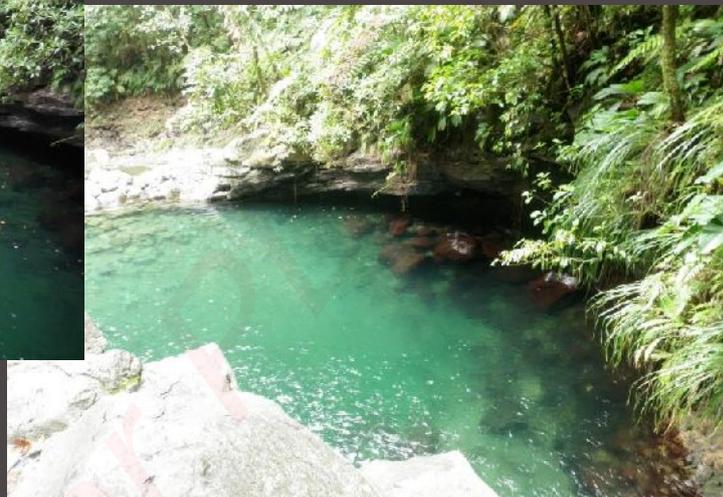
Commentaires :

Prélèvement d'un tapis de diatomées (?) sur la paroi en rive D de la chute (température non mesurée, approximativement 30-35°C)

Source du Massif de la Soufrière

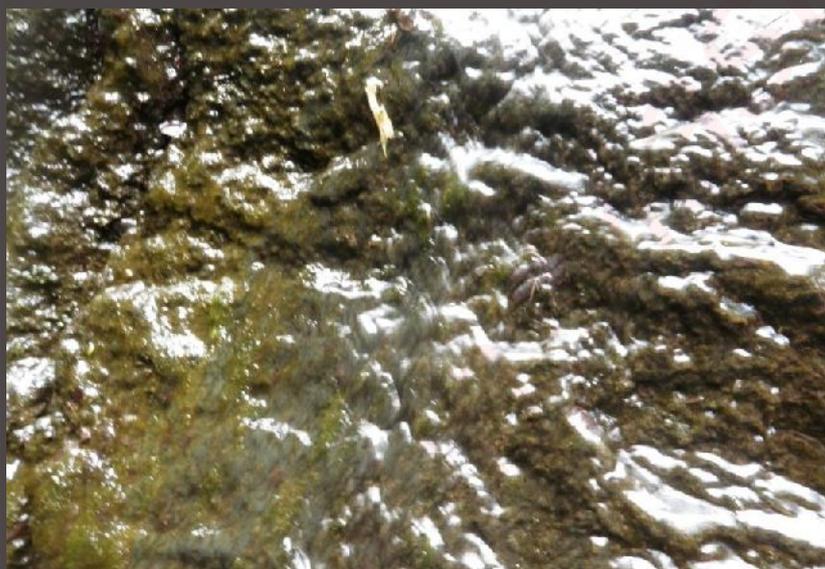
Cascade Paradise GC Paradise

amont



aval

site de
prélèvement



Informations prélèvement :

N° Etude : 2644
Date : 11/07/2013
Heure : 14h45
Préleveur : EFR
Commune : Capesterre BE
Localisation :

Coordonnées géographiques (WGS815)

X : 1773716
Y : 645960

Données physico-chimiques *in situ*

Température (en °C) : 30,5
O₂ dissous (en mg/L) :
Taux de saturation en O₂ :
pH : 7,22
Conductivité (en µS/cm) : 878

Commentaires :

Prélèvement facile : beaucoup de matériel apparemment cyanobactéries + diatomées. Eau peu thermale (vraisemblablement mélange important avec eaux pluviales car pH proche de la neutralité).

Source du secteur Bouillante

Source Lise LIS

amont



aval



site de prélèvement



Informations prélèvement :

N° Etude : 2644
Date : 07/07/2013
Heure : 11h00
Préleveur : EFR
Commune : Malendure
Localisation :

Coordonnées géographiques (WGS816)

X : 1786961
Y : 631258

Données physico-chimiques *in situ*

Température (en °C) : 33,9
O₂ dissous (en mg/L) : 3,97
Taux de saturation en O₂ : 50,62
pH : 7,29
Conductivité (en µS/cm) : 324

Commentaires :

3 bassins aménagés. Prélèvement dans le 2nd bassin, sur 5 pierres trouvées au fond du bassin ou sur une des taules du toit effondré dans le bassin

Source du secteur Bouillante

Source Bouillante BOU

amont



aval



site de
prélèvement



Informations prélèvement :

N° Etude : 2644
Date : 07/07/2013
Heure : 13h
Préleveur : EFR
Commune : Bouillante
Localisation :

Coordonnées géographiques (WGS817)

X : 1784125
Y : 632028

Données physico-chimiques *in situ*

Température (en °C) : 30,1
O₂ dissous (en mg/L) : 5,07
Taux de saturation en O₂ : 67,2
pH : 7,1
Conductivité (en µS/cm) : 496

Commentaires :

source aménagée (petit bassin avec tuyau d'évacuation de l'eau). Prélèvements sur les racines qui courent sur la paroi située à l'aval de la source car la source elle-même est trop ombragée.

Source du secteur Bouillante

Source Anse Thomas THO

site de prélèvement le 07/07/2013



aspect du site en juillet 2010 (marée basse)



site de prélèvement (photo juillet 2010)



Informations prélèvement :

N° Etude : 2644
Date : 07/07/2013
Heure : 15h00
Préleveur : EFR
Commune : Bouillante
Localisation :

Coordonnées géographiques (WGS818)

X : 1781496
Y : 631094

Données physico-chimiques *in situ*

Température (en °C) : 40
O₂ dissous (en mg/L) :
Taux de saturation en O₂ :
pH : 7,22
Conductivité (en µS/cm) : >4000

Commentaires :

Emergence de la source au niveau de la mer dans un petit bassin naturel très fréquenté - Prélèvements de matériel sur les parois rocheuses à proximité de l'émergence des sources (vraisemblablement cyanobactéries) + sur galets en bordure de bassin à environ 1 m de l'émergence de la source (vraisemblablement présence de diatomées) - Prélèvement diatomées uniquement (pas de mesures physicochimiques de l'eau) - Prélèvement bactéries/cyanobactéries différé

Source du secteur Bouillante

Source Bains du Curé BDC

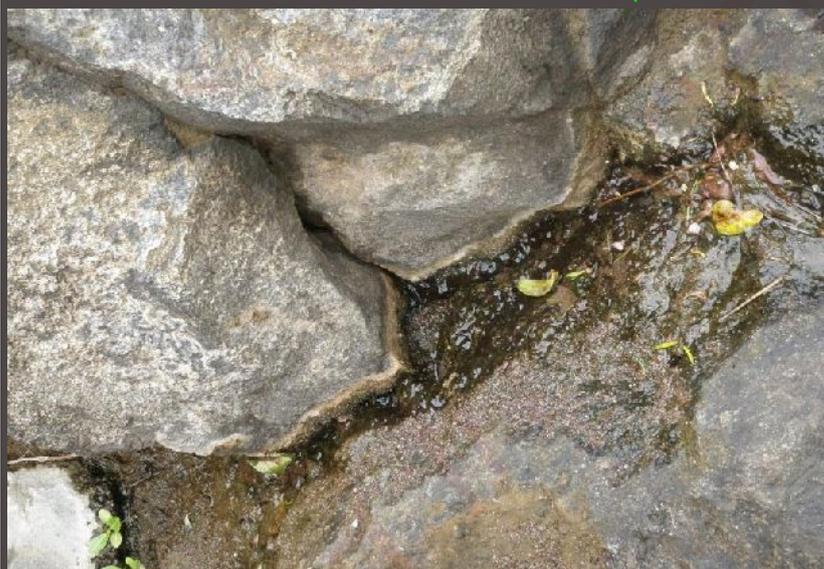
Les aménagements de la source principale



Le griffon a G de la source principale, quelques mètres avant les bassins



site de prélèvement



Informations prélèvement :

N° Etude : 2644
Date : 07/07/2013
Heure : 11h30
Préleveur : EFR
Commune : Pigeon
Localisation :

Coordonnées géographiques (WGS819)

X : 1785664
Y : 630933

Données physico-chimiques *in situ*

Température (en °C) :
O₂ dissous (en mg/L) :
Taux de saturation en O₂ :
pH :
Conductivité (en µS/cm) :

Commentaires :

Prélèvement au niveau d'un griffon situé sur la paroi rocheuse à environ 1 m au niveau de la mer juste avant les bassins aménagés - Prélèvement diatomées uniquement (pas de mesures physicochimiques de l'eau)

Source du secteur Bouillante

Rejet de l'usine Bouillante RUB

amont



aval

site de
prélèvement



Informations prélèvement :

N° Etude : 2644
Date : 12/07/2013
Heure : 10h30
Préleveur : EFR
Commune : Bouillante
Localisation :

Coordonnées géographiques (WGS820)

X : 1783483
Y : 630933

Données physico-chimiques *in situ*

Température (en °C) : >38
O₂ dissous (en mg/L) :
Taux de saturation en O₂ :
pH :
Conductivité (en µS/cm) :

Commentaires :

Prélèvement en zone de mélange rejet/eau de mer sur un gros bloc bordant le rejet, recouvert d'un biofilm vert vif (cyanobactéries) - Prélèvement diatomées et bactéries/cyanobactéries uniquement (pas de mesures physicochimiques de l'eau)

Annexe 2 : Inventaires diatomiques (abondances relatives en ‰)

Désignation du taxon	TAXON IBD	Code OMNIDIA	RM3	RM2	TA	GA	ROC	BCM Bassin	HR
Achnanthydium exiguum var.constrictum (Grunow) Andresen. Stoermer &	*	ACEC	19						
Achnanthydium sp5		AD05					143		
Achnanthydium sp7		AD07					225		
Achnanthydium sp20		AD20							
Achnanthydium catenatum (Bily & Marvan) Lange-Bertalot	*	ADCT							
Achnanthydium exiguum (Grunow) Czarnecki	*	ADEG			12				249
Achnanthydium minutissimum (Kützing) Czarnecki	*	ADMI					67	17	2
Adlafia sp1		ADS1						7	
Achnanthydium subhudsonis (Hustedt) H. Kobayasi	*	ADSH	2						
Achnanthes kuwaitensis Hendey		AKUW							
Amphora sp11		AM11				2			
Adlafia muscora (Kociolek & Reviere) Moser Lange-Bertalot & Metzeltin	*	AMUS						5	2
Amphora pediculus (Kützing) Grunow	*	APED			2	5	5		
Achnanthes rupestroides Hohn var. uniseriata Lange-Bertalot & Monnier		ARPU						2	
Brachysira brebissonii Ross in Hartley ssp. brebissonii	*	BBRE				15			
Brachysira garrensis (Lange-Bertalot & Krammer) Lange-Bertalot		BGAR						19	
Brachysira sp1		BR01							
Brachysira sp2		BR02							
Cocconeis euglypta Ehrenberg	*	CEUG							
Chamaepinnularia sp1		CHA1							
Chamaepinnularia sp2		CHA2						19	
Chamaepinnularia sp3		CHA3							
Chamaepinnularia mediocris (Krasske) Lange-Bertalot	*	CHME						2	
Caloneis hyalina Hustedt		CHYA							
Craticula molestiformis (Hustedt) Lange-Bertalot	*	CMLF							
Diademesmia confervaceoides Lange-Bertalot & Rumrich		DCFD	7						5
Diademesmia confervacea Kützing var. confervacea	*	DCOF	660					29	10
Diademesmia contenta (Grunow ex V. Heurck) Mann	*	DCOT					12	41	2
Diademesmia confervacea Kützing f.rostrata (Krasske) Metzeltin & Lange-		DCRS						2	
Abnormal diatom valve (unidentified) or sum of deformities abundances	*	DEFO	5	32		46	5		
Denticula sp1		DEN1							
Diademesmia sp3		DI03							
Diademesmia sp4		DI04							
Diademesmia sp5		DI05							
Diademesmia brekkaensis (J.B.Petersen) D.G. Mann		DBRE			2				
Diademesmia platensis		DPLT							
Denticula sundayensis Archibald		DSUN							
Encyonopsis subminuta Krammer & Reichardt		ESUM							
Eolimna lepidula (Manguin) Metzeltin & Lange-Bertalot		ELEP						5	
Eunotia minor (Kützing) Grunow in Van Heurck	*	EMIN							
Eunotia muscicola Krasske var. muscicola		EMUS						2	
Encyonema sp1		EN01							
Encyonopsis sp3		EN03							
Encyonema sp6		EN06							
Eunotia naegeli Migula	*	ENAE							
Eunotia nanolusitanica		ENNL						14	
Eunotia nymanniana Grunow in Van Heurck		ENYM				12			
Eolimna sp1		EO01							7
Eolimna sp2		EO02							15
Eolimna sp3		EO03							
Eolimna sp5		EO05					59		
Eolimna sp6		EO06					2		
Eolimna sp12		EO12							27
Eolimna minima(Grunow) Lange-Bertalot	*	EOMI						60	2
Eolimna ruttneri (Hustedt) Lange-Bertalot & Monnier	*	EORU					5		239
Eunotia rabenhorstiana (Grun.) Hustedt var. rabenhorstiana		ERAB				811			

Désignation du taxon	TAXON IBD	Code OMNIDIA	RM3	RM2	TA	GA	ROC	BCM Bassin	HR
Eunotia rhomboidea Hustedt	*	ERHO							27
Eunotia soleirolii (Kützing) Rabenhorst	*	ESOL							
Eunotia subarcuatoides Alles Nörpel & Lange-Bertalot	*	ESUB						2	
Eunotia sp33		EU33							
Eunotia hepaticola Lange-Bertalot & Wydrzycka		EUHE		919					
EUNOTIA C.G. Ehrenberg		EUNO				17			
Frustulia crassinervia (Breb.) Lange-Bertalot et Krammer	*	FCRS						2	
Fragilaria fonticola Hustedt		FFON							
Fragilaria goulardii (Brébisson) Lange-Bertalot	*	FGOU							
Fragilaria sp1		FR01							150
Fistulifera saprophila (Lange-Bertalot & Bonik) Lange-Bertalot	*	FSAP							
Fallacia tenera (Hustedt) Mann in Round	*	FTNR							
Gomphonema affine Kützing	*	GAFF							
Gomphonema designatum E. Reichardt	*	GDES							
Gomphonema exilissimum(Grun.) Lange-Bertalot & Reichardt	*	GEXL						186	
Gomphonema lagenula Kützing	*	GLGN						2	
Gomphonema sp45		GO45							
Gomphonema sp66		GO66							5
Gomphonema sp85		GO85						7	
Gomphonema parvulum (Kützing) Kützing var. parvulum f. parvulum	*	GPAR						51	2
Gomphosphenia sp1		GPP1							
Gomphonema subclavatum Grunow		GSCL				5			
Gomphosphenia tenerrima (Hustedt) Reichardt		GTNR							
Halamphora fontinalis (Hustedt) Levkov		HFON							
Halamphora subholsatica	*	HSHO							
Inconnue n°3		IN03							
Inconnue sp26		IN26						5	
Luticola aequatorialis (Heiden)Lange-Bertalot et Ohtsuka		LAEQ							
Luticola sp11		LU11			5				
Luticola sp14		LU14							
Mayamaea permitis (Hustedt) Bruder & Medlin	*	MPMI							
Navicula sp56		NA56							
Nitzschia acidoclinata Lange-Bertalot	*	NACD						7	
Nitzschia amphibia Grunow f.amphibia	*	NAMP							145
Navicula arvenoides Hustedt		NARD						423	
Nitzschia clausii Hantzsch	*	NCLA							
Navicula cruxmeridionalis Metzeltin, Lange-Bertalot & Garcia-Rodrigue		NCXM							
Navicula(dicta) seminulum forme 2		ND02					81		5
Navicula(dicta) seminulum forme 3		ND03					40		5
Navicula difficillima Hustedt	*	NDIF							
Navicula erifuga forme 2		NER2							
Navicula erifuga forme 3		NER3							
Nitzschia sp41		NI41			5				
Nitzschia sp43		NI43			2				
Nitzschia sp44		NI44							
Nitzschia sp63		NI63							
Nitzschia sp69		NI69							
Nitzschia sp78		NI78							10
Nitzschia sp79		NI79							
Nitzschia sp80		NI80						2	
Nitzschia sp81		NI81							57
Nitzschia sp82		NI82							
Nitzschia frustulum(Kützing)Grunow var.frustulum	*	NIFR							
Nitzschia inconspicua Grunow	*	NINC							
Nitzschia scalpelliformis (Grunow) Grunow in Cleve & Grunow	*	NISC				73			
Nitzschia serrata Manguin		NISE		49				14	

Désignation du taxon	TAXON IBD	Code OMNIDIA	RM3	RM2	TA	GA	ROC	BCM Bassin	HR
NITZSCHIA A.H. Hassall		NITZ							
Nitzschia linearis(Agardh) W.M.Smith var.linearis	*	NLIN							
Nitzschia microcephala Grunow in Cleve & Moller	*	NMIC							
Nitzschia palea forme 2		NP02							
Nitzschia palea forme 6		NP06			5				
Nitzschia palea (Kützing) W.Smith	*	NPAL			60				
Navicula rivulorum Lange-Bertalot & Rumrich		NRVL							2
Nitzschia terrestris (Petersen) Hustedt	*	NTER						2	
Nupela sp1		NUP1						5	
Nupela sp3		NUP3							
Nupela rumrichorum Lange-Bertalot	*	NURU							
Nitzschia lange-bertalotii Coste & Ricard		NZLB							2
Pinnularia sp32		PI32							
Pinnularia sp52		PI52						5	
Pinnularia jocolata (Manguin) Krammer		PJOC	231		898	5	210	51	
Placoneis sp6		PLA6							
Planothidium frequentissimum(Lange-Bertalot)Lange-Bertalot	*	PLFR					5		
Planothidium robustius (Hustedt) Lange-Bertalot	*	PRBU					7		
Platessa sp1		PTS1					2		
Platessa sp2		PTS2							
Rhoicosphenia abbreviata (C.Agardh) Lange-Bertalot	*	RABB				2			
Rhopalodia gibberula (Ehrenberg) O.Muller	*	RGBL					10		
Rhopalodia gibba (Ehr.) O.Muller var.gibba	*	RGIB							
Rhopalodia sp2		RH02							
Rhopalodia sp3		RH03	10		2	7		5	
Rhopalodia sp4		RH04							
Rhopalodia operculata (Agardh) Hakansson		ROPE	63		5		2		
Sellaphora sp2		SE02					5		
Sellaphora pupula (Kützing) Mereschkowsky	*	SPUP							2
Stauroneis rostrata (Hustedt) Metzeltin & Lange-Bertalot		SRST	2						20
Sellaphora seminulum (Grunow) D.G. Mann	*	SSEM					114	2	2
Stauroneis sp1		STA1							
Stauroneis thermicola (Petersen) Lund	*	STHE							
STAUROSIRA (C.G. Ehrenberg) D.M. Williams & F.E. Round		STRS							
Surirella sp4		SU04							
Ulnaria lanceolata (Kütz.) Compère		ULAN							
Formes tératogères		DEFO	5	34	1	62	10	3	2

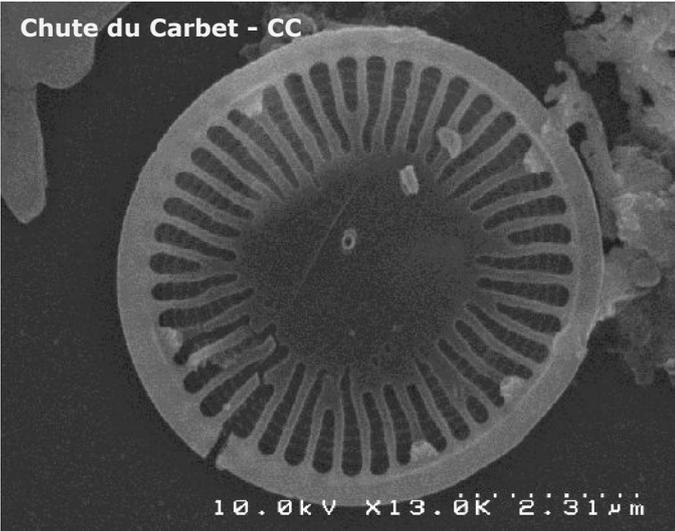
Désignation du taxon	TAXON IBD	Code OMNIDIA	BJ	CC	CCBIS	GC Paradyse	LIS	BOU	THO
Achnanthydium exiguum var.constrictum (Grunow) Andresen. Stoermer &	*	ACEC							
Achnanthydium sp5		AD05							
Achnanthydium sp7		AD07							
Achnanthydium sp20		AD20		29					
Achnanthydium catenatum (Bily & Marvan) Lange-Bertalot	*	ADCT		17					
Achnanthydium exiguum (Grunow) Czarnecki	*	ADEG		93	114		330	62	
Achnanthydium minutissimum (Kützing) Czarnecki	*	ADMI	2						
Adlafia sp1		ADS1							
Achnanthydium subhudsonis (Hustedt) H. Kobayasi	*	ADSH		103	75	44		12	
Achnanthes kuwaitensis Hendeby		AKUW							2
Amphora sp11		AM11							7
Adlafia muscora (Kocielek & Reviere) Moser Lange-Bertalot & Metzeltin	*	AMUS		20	12	5			
Amphora pediculus (Kützing) Grunow	*	APED					2		
Achnanthes rupestroides Hohn var. uniseriata Lange-Bertalot & Monnier		ARPU	2	2					
Brachysira brebissonii Ross in Hartley ssp. brebissonii	*	BBRE							
Brachysira garrensis (Lange-Bertalot & Krammer) Lange-Bertalot		BGAR	5						
Brachysira sp1		BR01		12					
Brachysira sp2		BR02		2					
Cocconeis euglypta Ehrenberg	*	CEUG		34					
Chamaepinnularia sp1		CHA1		27					
Chamaepinnularia sp2		CHA2							
Chamaepinnularia sp3		CHA3		12			5		
Chamaepinnularia mediocris (Krasske) Lange-Bertalot	*	CHME		2					
Caloneis hyalina Hustedt		CHYA	2						
Craticula molestiformis (Hustedt) Lange-Bertalot	*	CMLF						25	
Diademesmia confervaceoides Lange-Bertalot & Rumrich		DCFD					29		
Diademesmia confervacea Kützing var. confervacea	*	DCOF	738	2	5		106	5	
Diademesmia contenta (Grunow ex V. Heurck) Mann	*	DCOT	29	29				45	
Diademesmia confervacea Kützing f.rostrata (Krasske) Metzeltin & Lange- Abnormal diatom valve (unidentified) or sum of deformities abundances	*	DEFO				555			
Denticula sp1		DEN1	2	86	25			2	
Diademesmia sp3		DI03						5	
Diademesmia sp4		DI04		5					
Diademesmia sp5		DI05		22				52	
Diademesmia brekkaensis (J.B.Petersen) D.G. Mann		DBRE							
Diademesmia platensis		DPLT						2	
Denticula sundayensis Archibald		DSUN						2	
Encyonopsis subminuta Krammer & Reichardt		ESUM		2					
Eolimna lepidula (Manguin) Metzeltin & Lange-Bertalot		ELEP		2					
Eunotia minor (Kützing) Grunow in Van Heurck	*	EMIN		5					
Eunotia muscicola Krasske var. muscicola		EMUS		5					
Encyonema sp1		EN01		2					
Encyonopsis sp3		EN03			5				
Encyonema sp6		EN06				5			
Eunotia naegeli Migula	*	ENAE		5					
Eunotia nanolusitanica		ENNL		12					
Eunotia nymanniana Grunow in Van Heurck		ENYM							
Eolimna sp1		EO01	2	7	7	17	2		
Eolimna sp2		EO02			10		63	60	
Eolimna sp3		EO03				2	7	2	
Eolimna sp5		EO05	2				2	10	
Eolimna sp6		EO06							
Eolimna sp12		EO12					77		
Eolimna minima(Grunow) Lange-Bertalot	*	EOMI		7		2	39	2	
Eolimna ruttneri (Hustedt) Lange-Bertalot & Monnier	*	EORU		7	57	17		398	
Eunotia rabenhorstiana (Grun.) Hustedt var. rabenhorstiana		ERAB	7						

Désignation du taxon	TAXON IBD	Code OMNIDIA	BJ	CC	CCBIS	GC Paradyse	LIS	BOU	THO
Eunotia rhomboidea Hustedt	*	ERHO	12						
Eunotia soleirolii (Kützing) Rabenhorst	*	ESOL			124				
Eunotia subarcuatoidea Alles Nörpel & Lange-Bertalot	*	ESUB	112						
Eunotia sp33		EU33			2			2	
Eunotia hepaticola Lange-Bertalot & Wydrzycka		EUHE							
EUNOTIA C.G. Ehrenberg		EUNO							
Frustulia crassinervia (Breb.) Lange-Bertalot et Krammer	*	FCRS							
Fragilaria fonticola Hustedt		FFON		7		137			
Fragilaria goulardii (Brébisson) Lange-Bertalot	*	FGOU		10		2			
Fragilaria sp1		FR01		2					
Fistulifera saprophila (Lange-Bertalot & Bonik) Lange-Bertalot	*	FSAP						27	
Fallacia tenera (Hustedt) Mann in Round	*	FTNR					5		
Gomphonema affine Kützing	*	GAFF				10			
Gomphonema designatum E. Reichardt	*	GDES		5				37	
Gomphonema exilissimum(Grun.) Lange-Bertalot & Reichardt	*	GEXL		2					
Gomphonema lagenula Kützing	*	GLGN							
Gomphonema sp45		GO45			299	5			
Gomphonema sp66		GO66							
Gomphonema sp85		GO85		2					
Gomphonema parvulum (Kützing) Kützing var. parvulum f. parvulum	*	GPAR		7		49		22	
Gomphosphenia sp1		GPP1		2					
Gomphonema subclavatum Grunow		GSCL							
Gomphosphenia tenerrima (Hustedt) Reichardt		GTNR					48		
Halamphora fontinalis (Hustedt) Levkov		HFON				10			
Halamphora subholsatica	*	HSHO							45
Inconnue n°3		IN03						5	
Inconnue sp26		IN26							
Luticola aequatorialis (Heiden)Lange-Bertalot et Ohtsuka		LAEQ						2	
Luticola sp11		LU11							
Luticola sp14		LU14					5		
Mayamaea perinitis (Hustedt) Bruder & Medlin	*	MPMI		2				47	
Navicula sp56		NA56		2					
Nitzschia acidoclinata Lange-Bertalot	*	NACD		12	2				
Nitzschia amphibia Grunow f.amphibia	*	NAMP				37		5	
Navicula arvensoidea Hustedt		NARD							
Nitzschia clausii Hantzsch	*	NCLA		10					
Navicula cruxmeridionalis Metzeltin, Lange-Bertalot & Garcia-Rodrigue		NCXM		7					
Navicula(dicta) seminulum forme 2		ND02		2				17	
Navicula(dicta) seminulum forme 3		ND03	17		62		5	2	
Navicula difficillima Hustedt	*	NDIF	5						
Navicula erifuga forme 2		NER2		15					
Navicula erifuga forme 3		NER3		2					2
Nitzschia sp41		NI41	7			17			
Nitzschia sp43		NI43							
Nitzschia sp44		NI44							941
Nitzschia sp63		NI63					7		
Nitzschia sp69		NI69							2
Nitzschia sp78		NI78							
Nitzschia sp79		NI79				2			
Nitzschia sp80		NI80							
Nitzschia sp81		NI81							
Nitzschia sp82		NI82		15					
Nitzschia frustulum(Kützing)Grunow var.frustulum	*	NIFR				17			
Nitzschia inconspicua Grunow	*	NINC				56		85	
Nitzschia scalpelliformis (Grunow) Grunow in Cleve & Grunow	*	NISC							
Nitzschia serrata Manguin		NISE							

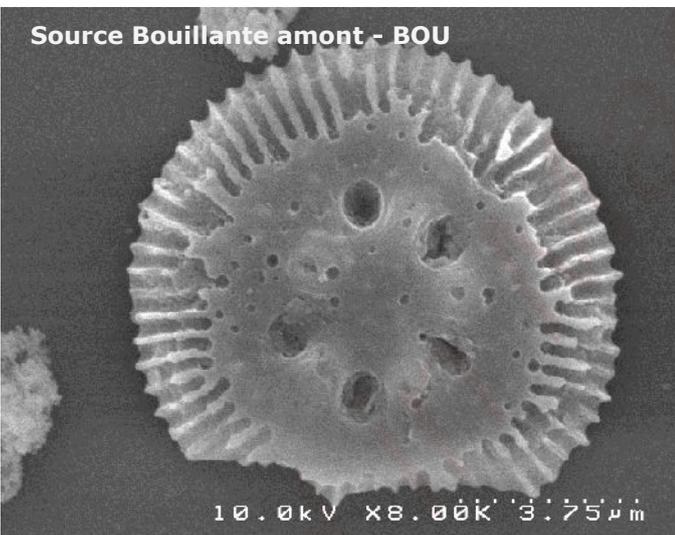
Désignation du taxon	TAXON IBD	Code OMNIDIA	BJ	CC	CCBIS	GC Paradyse	LIS	BOU	THO
NITZSCHIA A.H. Hassall		NITZ						2	
Nitzschia linearis(Agardh) W.M.Smith var.linearis	*	NLIN				2			
Nitzschia microcephala Grunow in Cleve & Moller	*	NMIC						7	
Nitzschia palea forme 2		NP02					118	7	
Nitzschia palea forme 6		NP06							
Nitzschia palea (Kützing) W.Smith	*	NPAL							
Navicula rivulorum Lange-Bertalot & Rumrich		NRVL	2	2					
Nitzschia terrestris (Petersen) Hustedt	*	NTER		7					
Nupela sp1		NUP1		20	2				
Nupela sp3		NUP3	2						
Nupela rumrichorum Lange-Bertalot	*	NURU	27	34					
Nitzschia lange-bertalotii Coste & Ricard		NZLB							
Pinnularia sp32		PI32					5		
Pinnularia sp52		PI52							
Pinnularia jocolata (Manguin) Krammer		PJOC		7			10	17	
Placoneis sp6		PLA6	2						
Planothidium frequentissimum(Lange-Bertalot)Lange-Bertalot	*	PLFR		15				12	
Planothidium robustius (Hustedt) Lange-Bertalot	*	PRBU	10	20		2			
Platessa sp1		PTS1		20					
Platessa sp2		PTS2		2					
Rhoicosphenia abbreviata (C.Agardh) Lange-Bertalot	*	RABB							
Rhopalodia gibberula (Ehrenberg) O.Muller	*	RGBL		20	12				
Rhopalodia gibba (Ehr.) O.Muller var.gibba	*	RGIB		7					
Rhopalodia sp2		RH02			2				
Rhopalodia sp3		RH03		17				2	
Rhopalodia sp4		RH04		12					
Rhopalodia operculata (Agardh) Hakansson		ROPE		132	157			5	
Sellaphora sp2		SE02							
Sellaphora pupula (Kützing) Mereschkowksy	*	SPUP							
Stauroneis rostrata (Hustedt) Metzeltin & Lange-Bertalot		SRST							
Sellaphora seminulum (Grunow) D.G. Mann	*	SSEM			17		14		
Stauroneis sp1		STA1		20					
Stauroneis thermicola (Petersen) Lund	*	STHE						5	
STAUROSIRA (C.G. Ehrenberg) D.M. Williams & F.E. Round		STRS					120		
Surirella sp4		SU04		2					
Ulnaria lanceolata (Kütz.) Compère		ULAN				5			
Formes tératogères		DEFO	8	4	4		14	3	

Annexe 3 : Atlas des diatomées des sources hydrothermales de la Guadeloupe

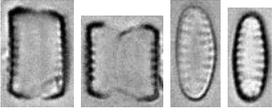
***Cyclotella* sp1**



***Cyclotella* sp2**



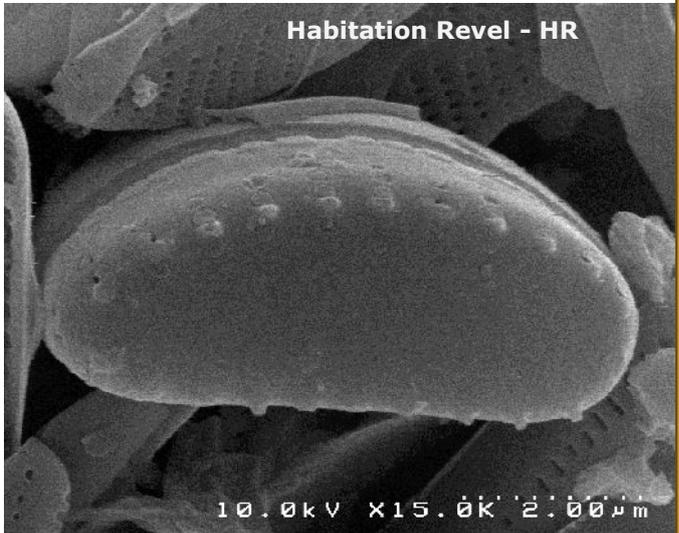
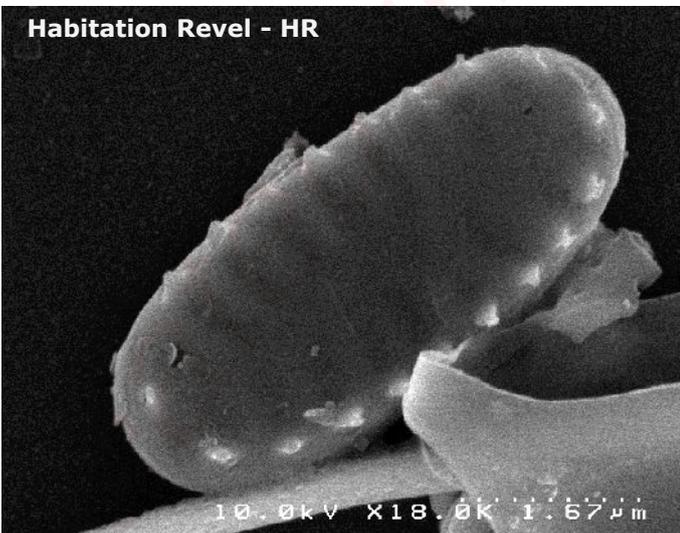
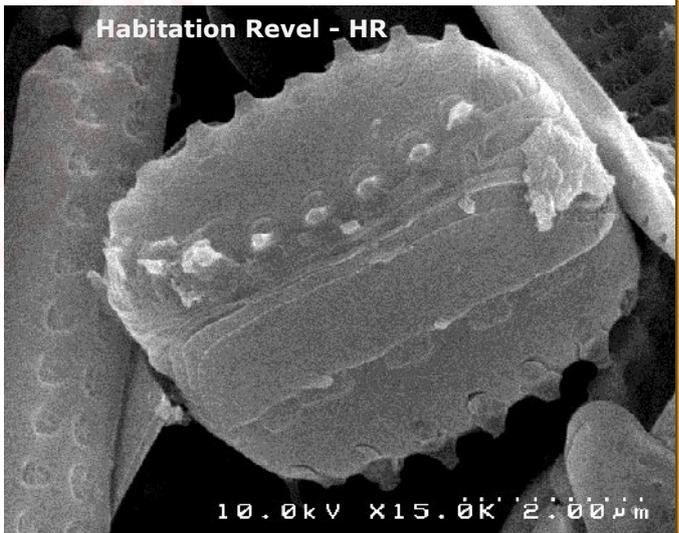
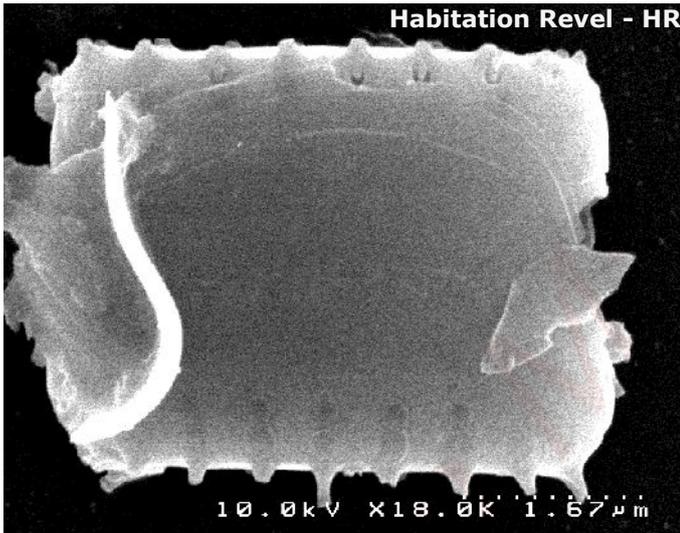
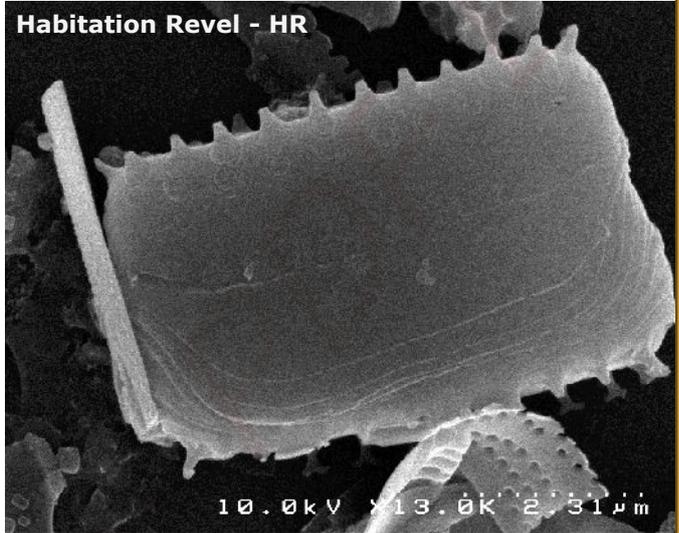
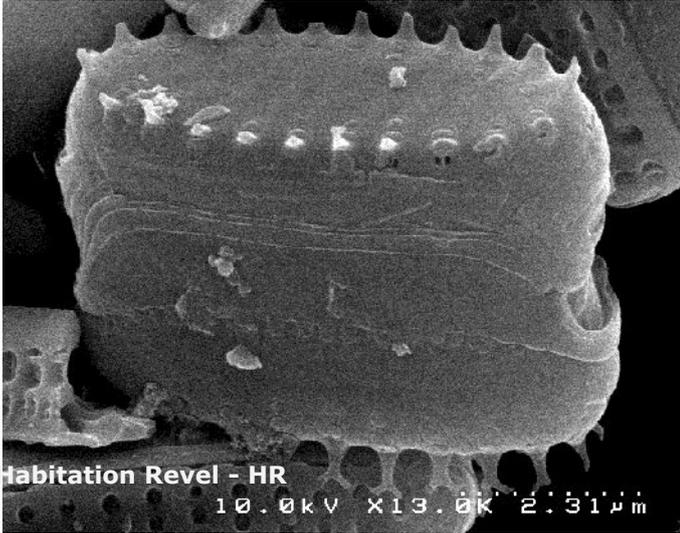
Fragilaria sp1 (FR01)



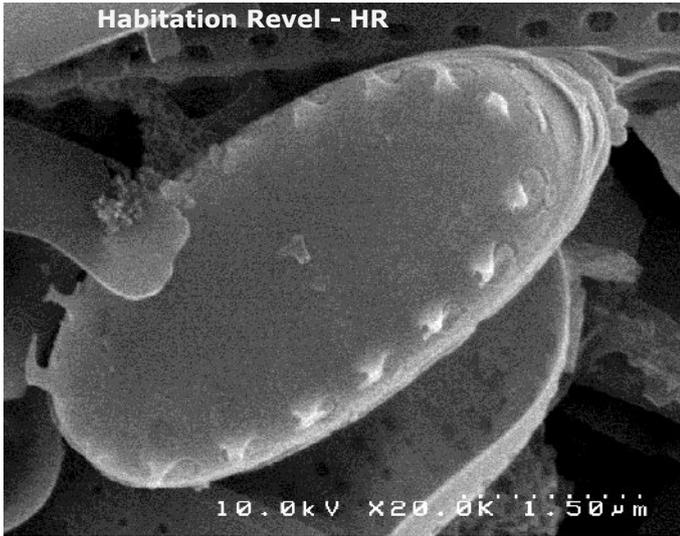
Bains Jaunes -
HR

10µm

FRAGILARIA



Fragilaria sp1 (FR01)

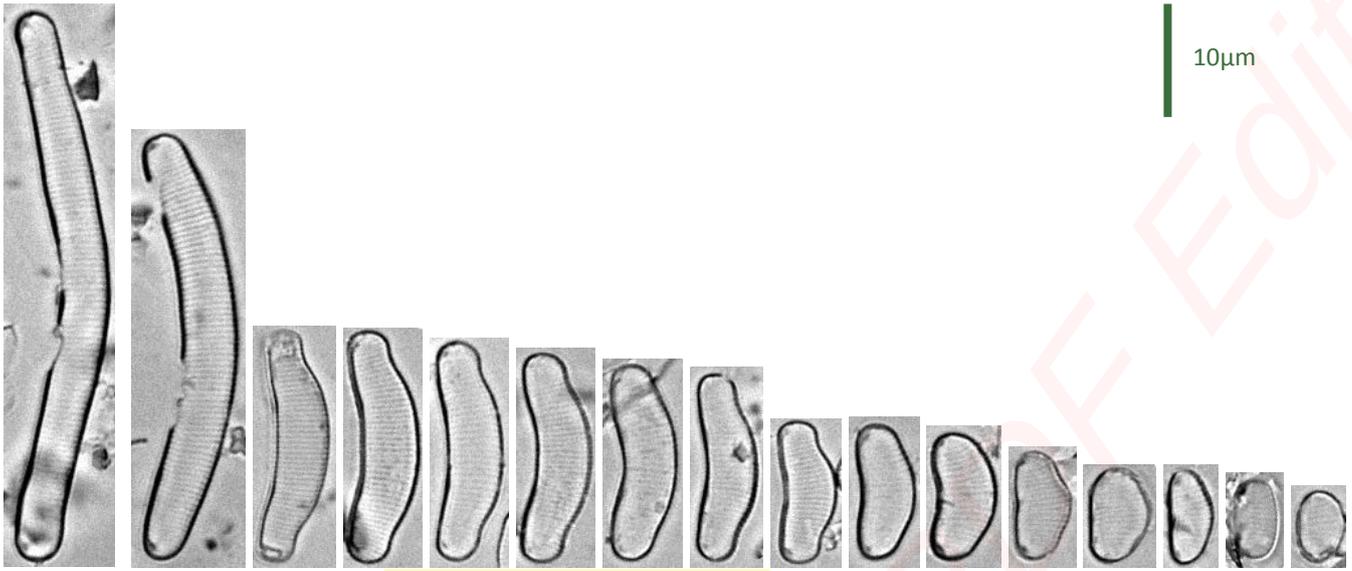


FRAGILARIA

Created in Master PL

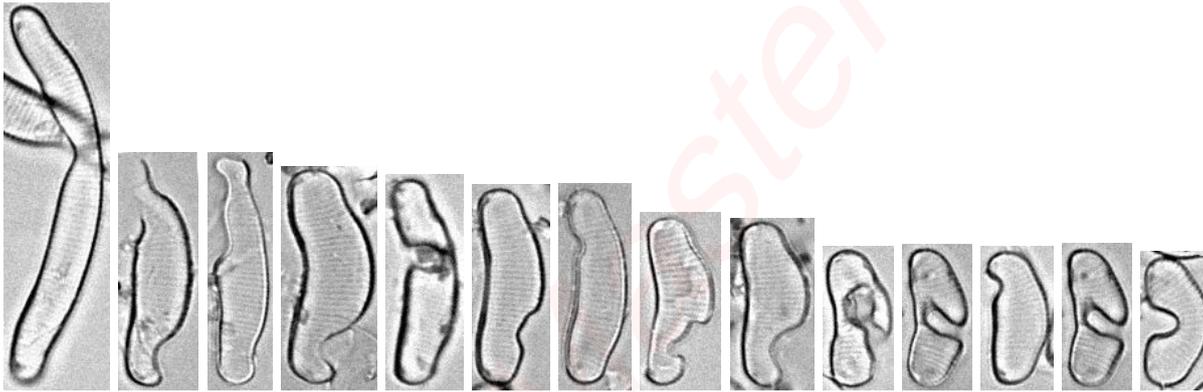
***Eunotia hepaticola* (EUHE)**

EUNOTIA



Ravine Marchand - RM2

Valves déformées



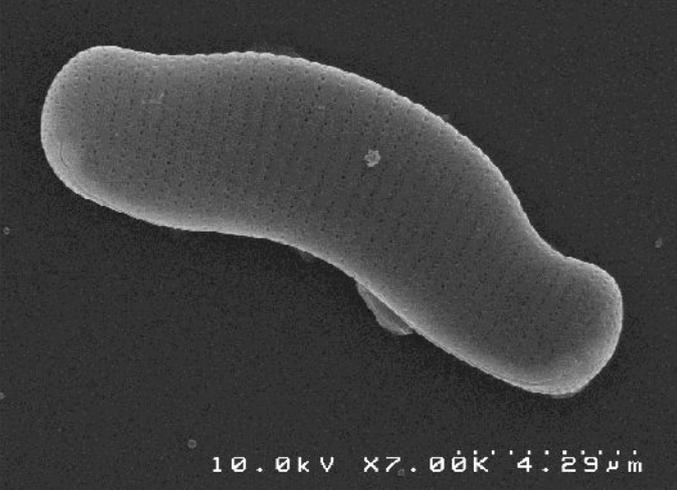
Ravine Marchand - RM2

Created in *PowerPoint*

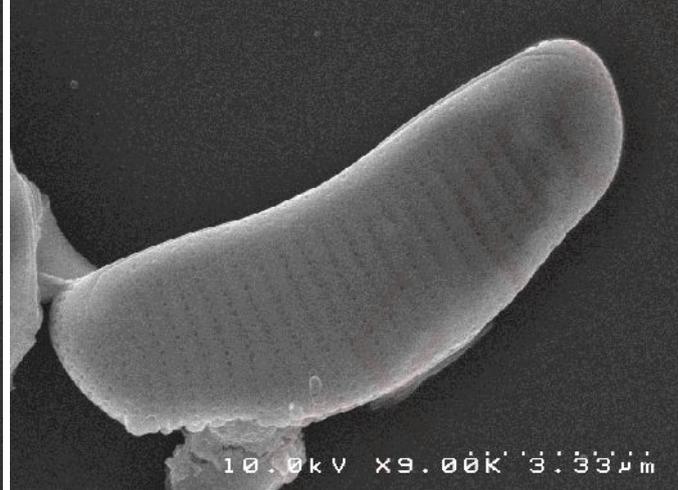
***Eunotia hepaticola* (EUHE)**

EUNOTIA

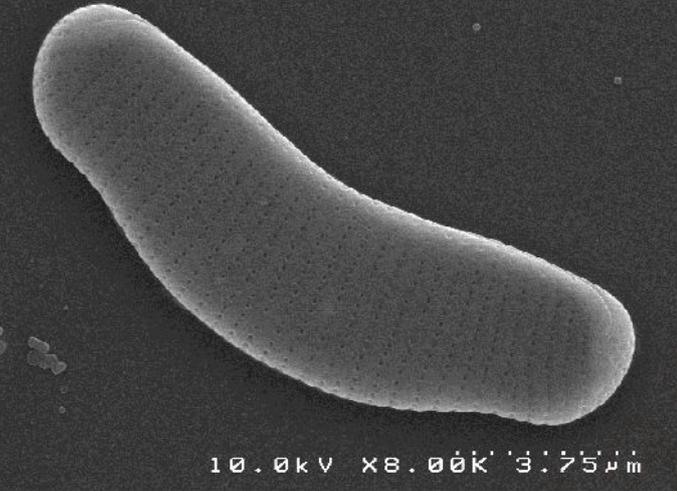
Ravine Marchand - RM2



Ravine Marchand - RM2



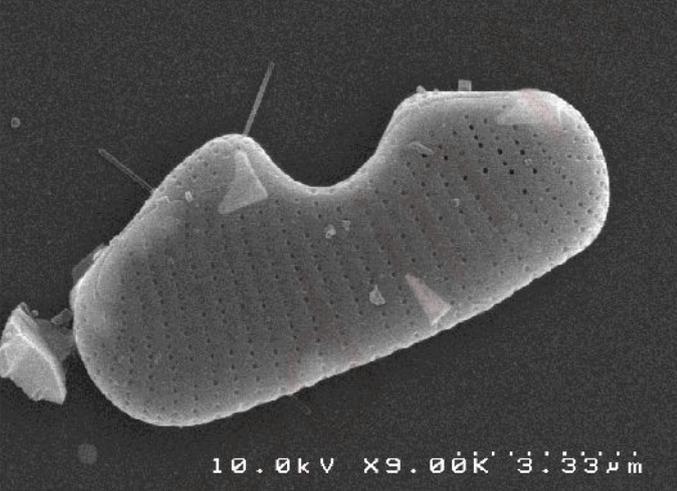
Ravine Marchand - RM2



Ravine Marchand - RM2



Ravine Marchand - RM2



Ravine Marchand - RM2



Created with

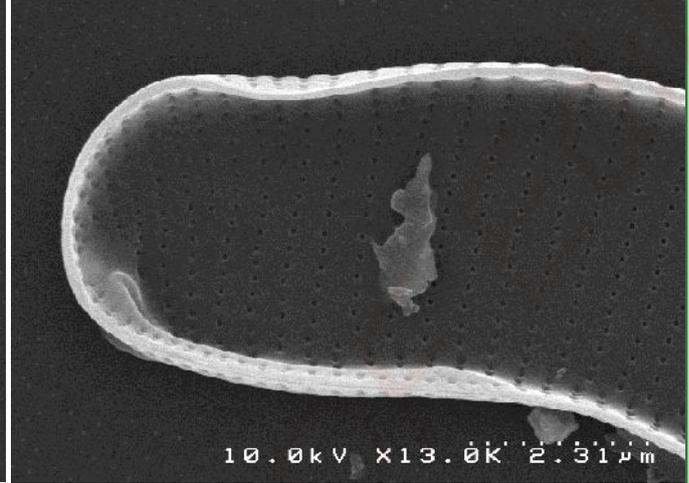
***Eunotia hepaticola* (EUHE)**

EUNOTIA

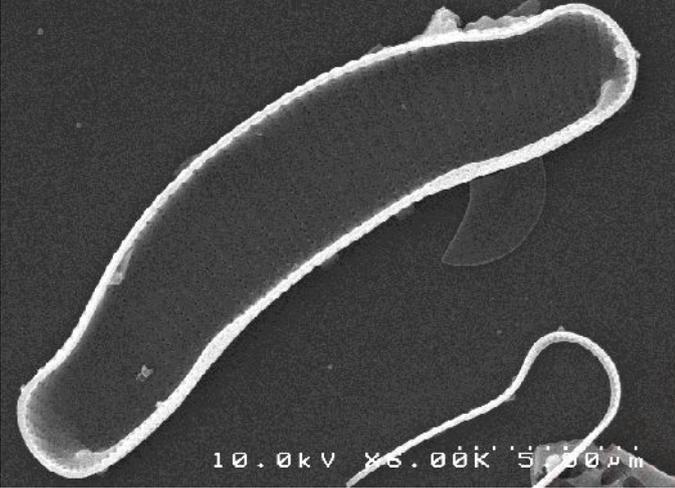
Ravine Marchand - RM2



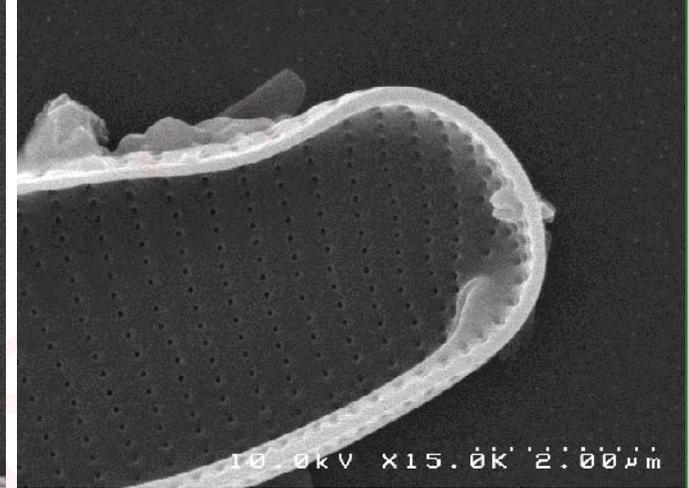
Ravine Marchand - RM2



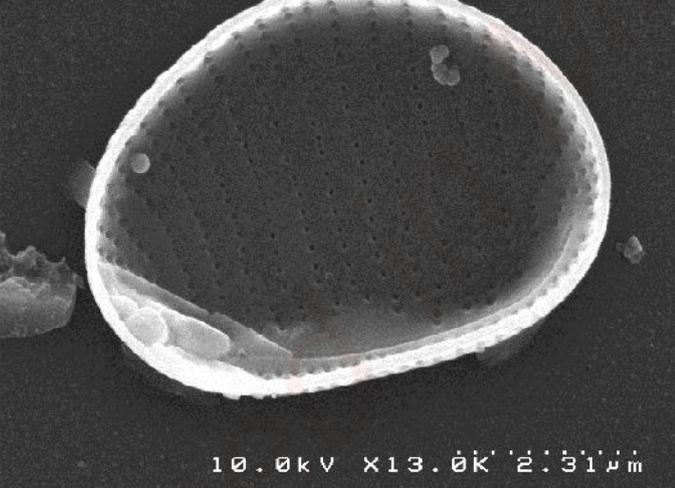
Ravine Marchand - RM2



Ravine Marchand - RM2



Ravine Marchand - RM2



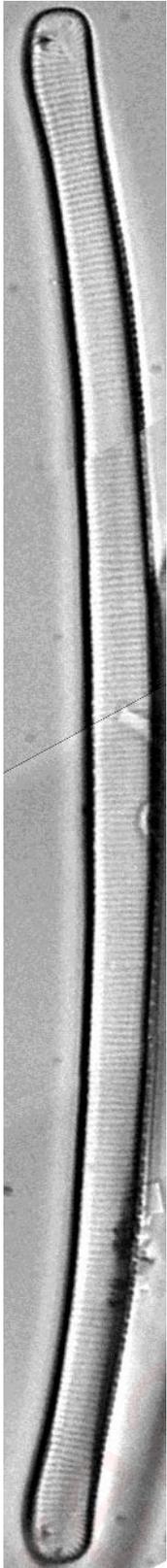
Created with

***Eunotia rabenhorstiana* (ERAB)**

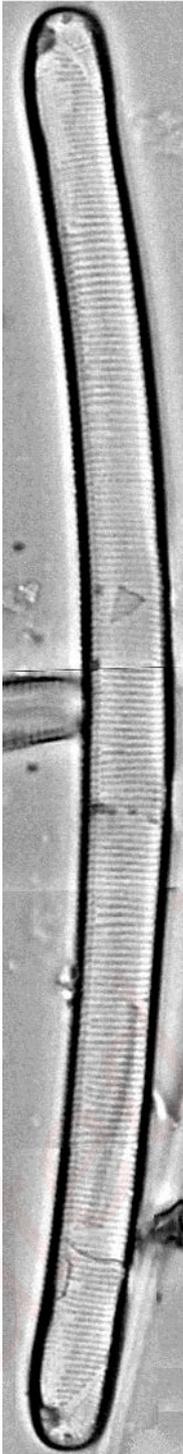
1 Source du Galion - GA

2 Bains Jaunes—BJ

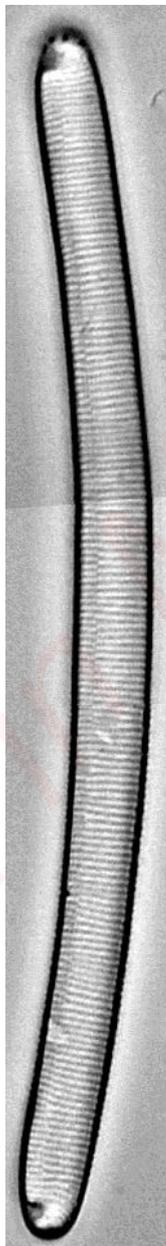
10µm



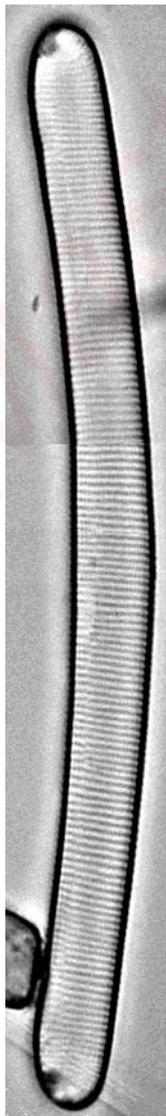
1



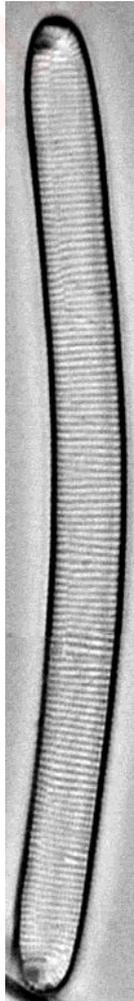
2



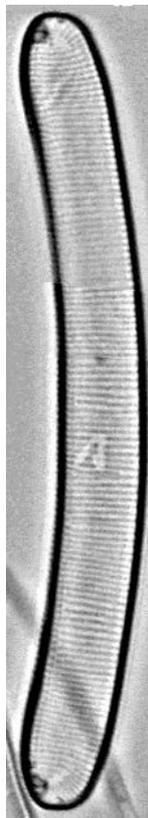
1



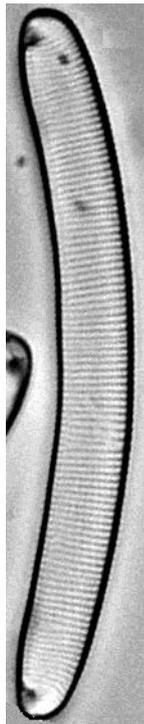
1



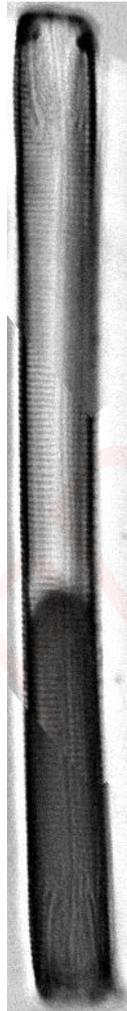
1



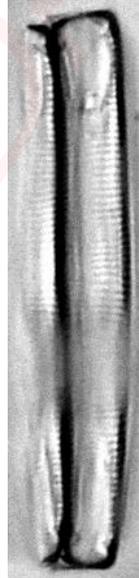
1



1

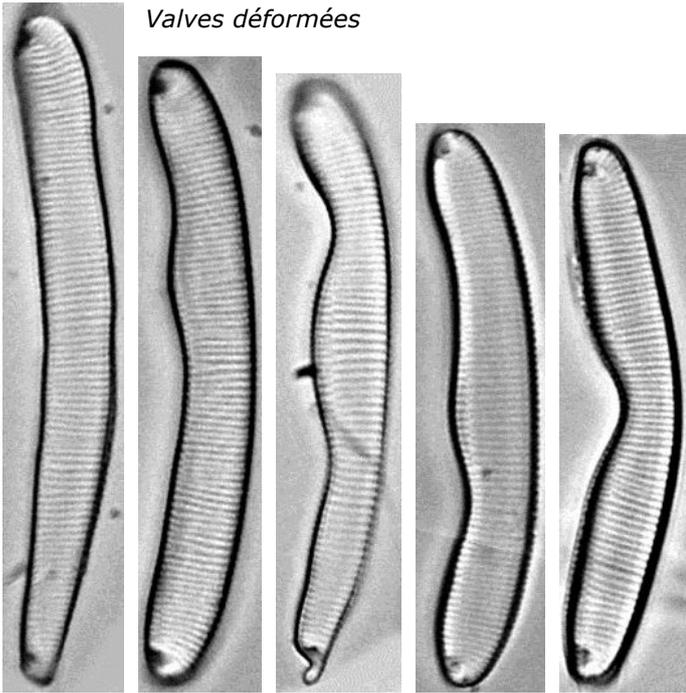


1

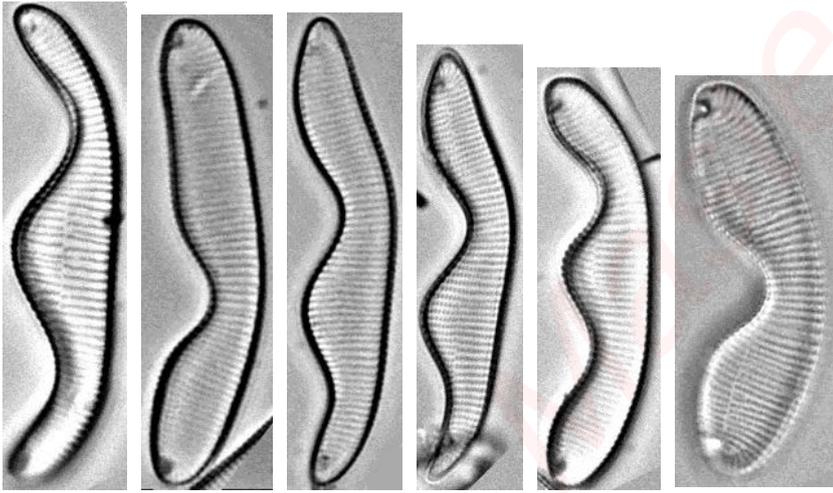


1

***Eunotia rabenhorstiana* (ERAB)**



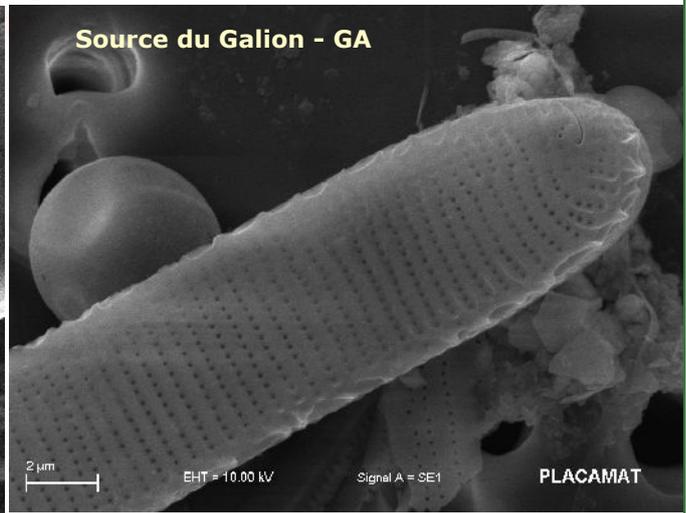
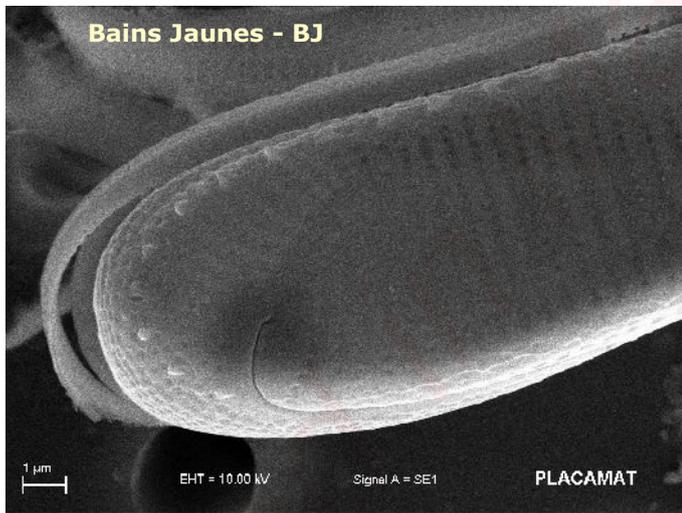
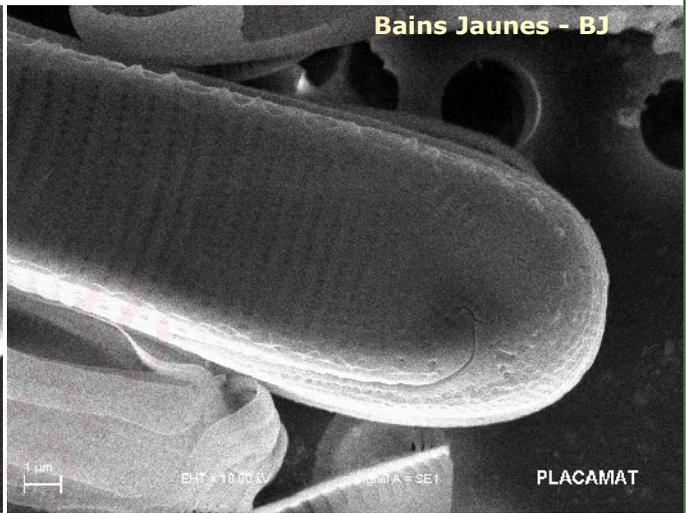
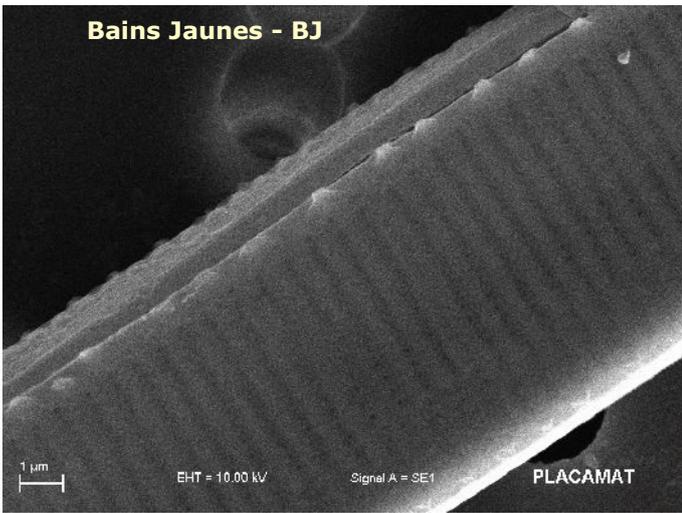
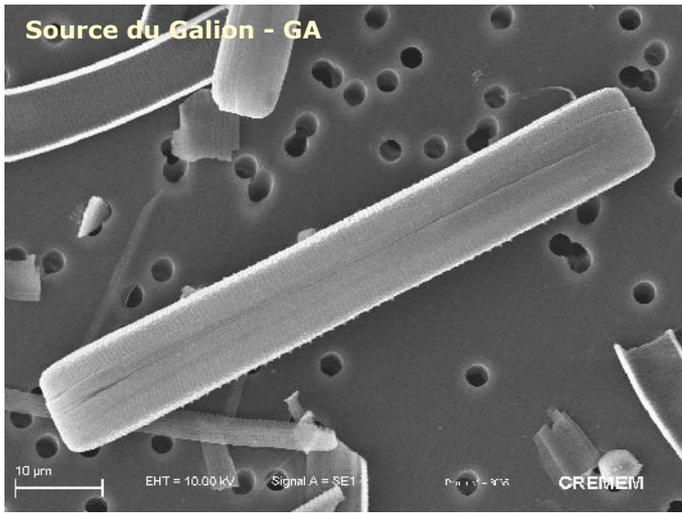
10µm



Source du Galion - GA

***Eunotia rabenhorstiana* (ERAB)**

EUNOTIA



Create PDF in your applications with the Pdfcrowd [HTML to PDF API](#)

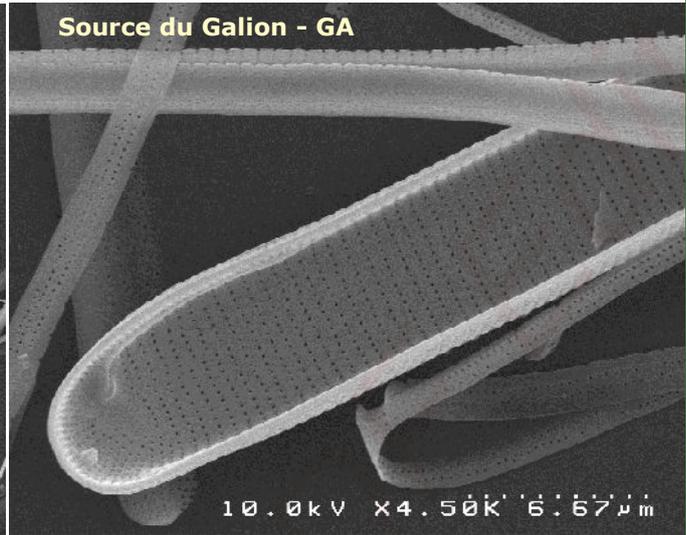
***Eunotia rabenhorstiana* (ERAB)**

EUNOTIA

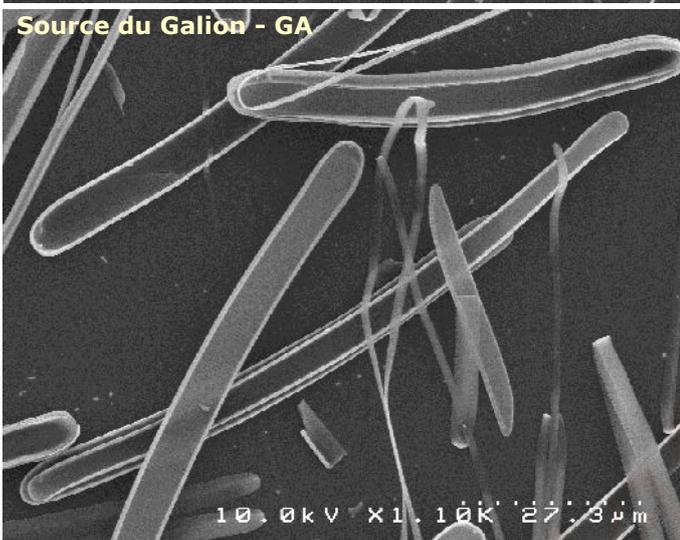
Source du Galion - GA



Source du Galion - GA



Source du Galion - GA



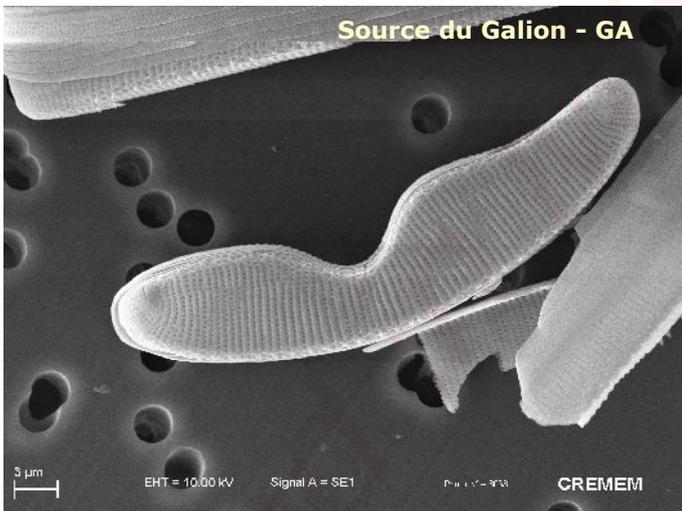
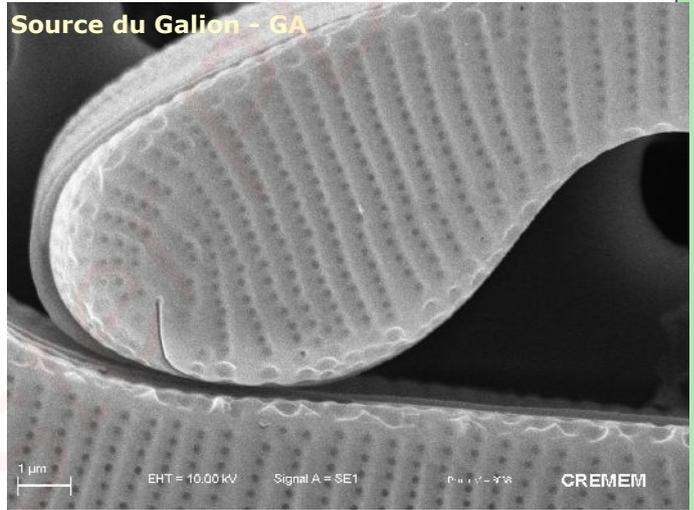
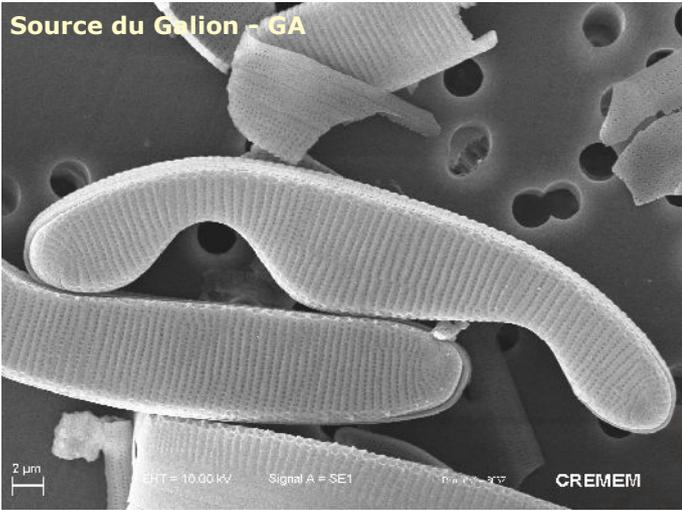
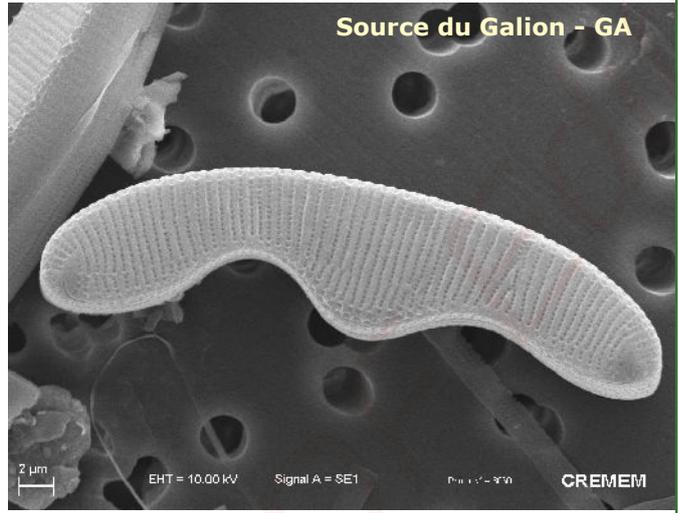
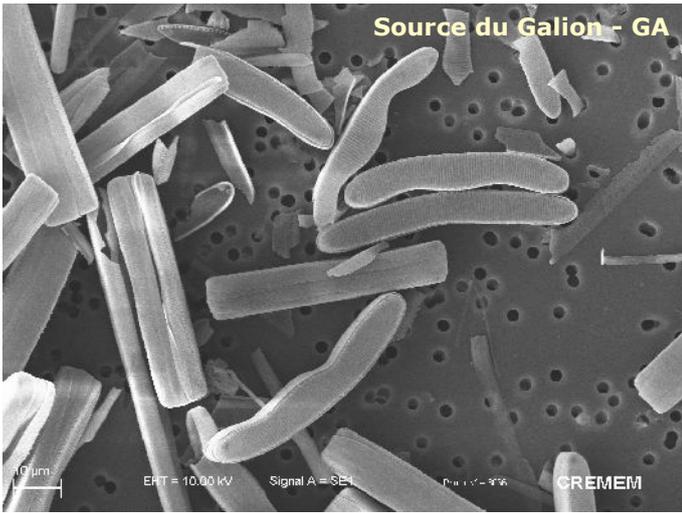
Source du Galion - GA



Created in Micro

***Eunotia rabenhorstiana* (ERAB)**

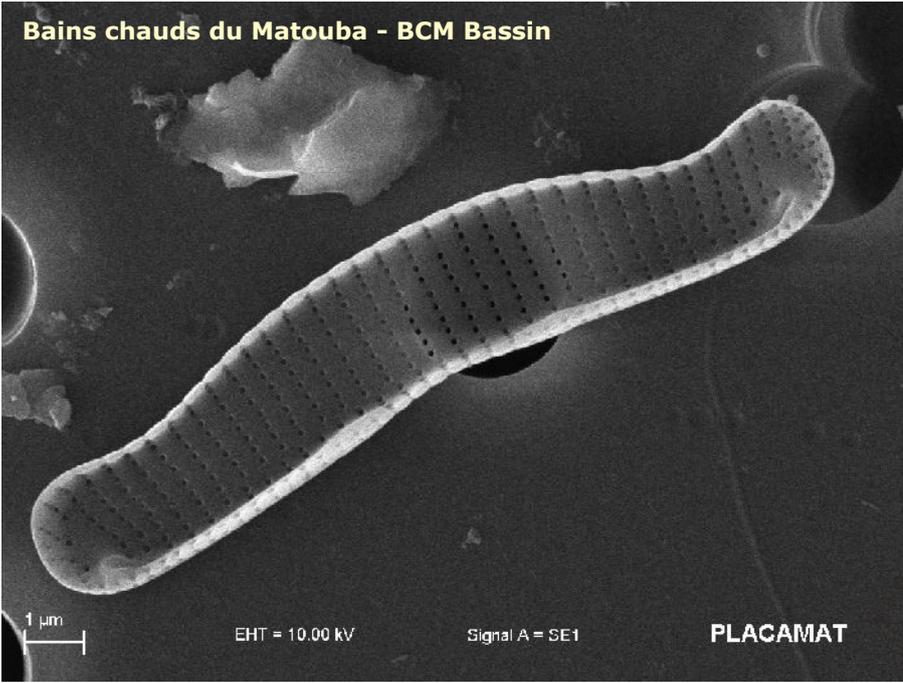
EUNOTIA



Create

***Eunotia exigua* (EEXI)**

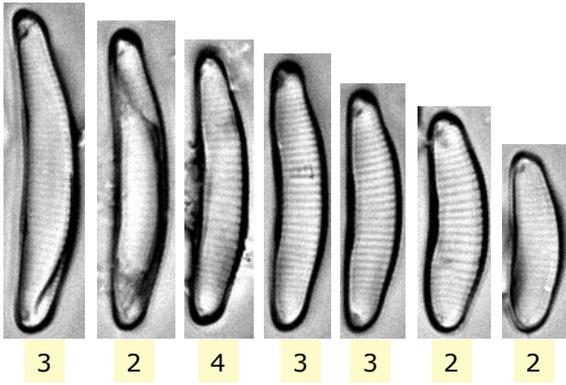
Bains chauds du Matouba - BCM Bassin



EUNOTIA

Created in Master PDF Editor

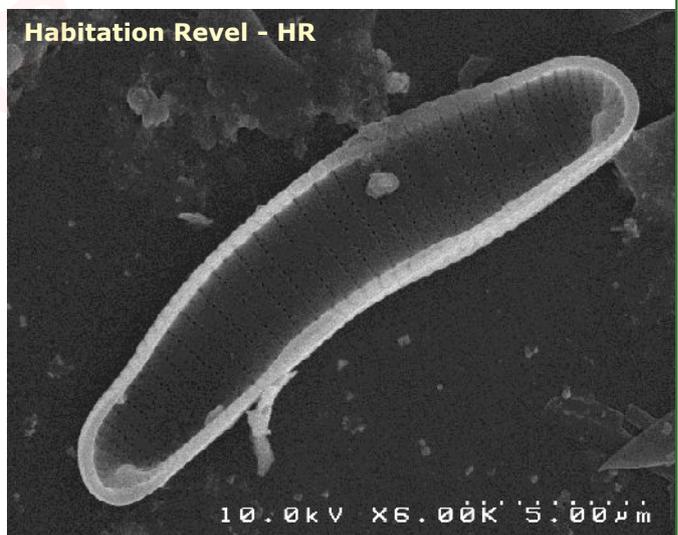
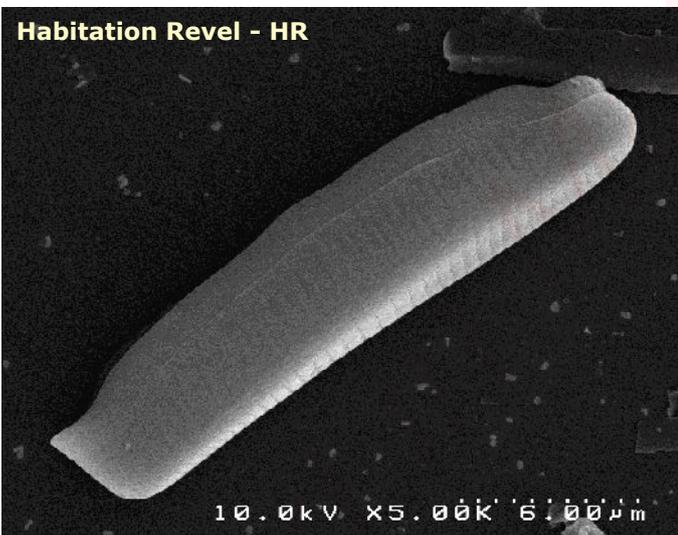
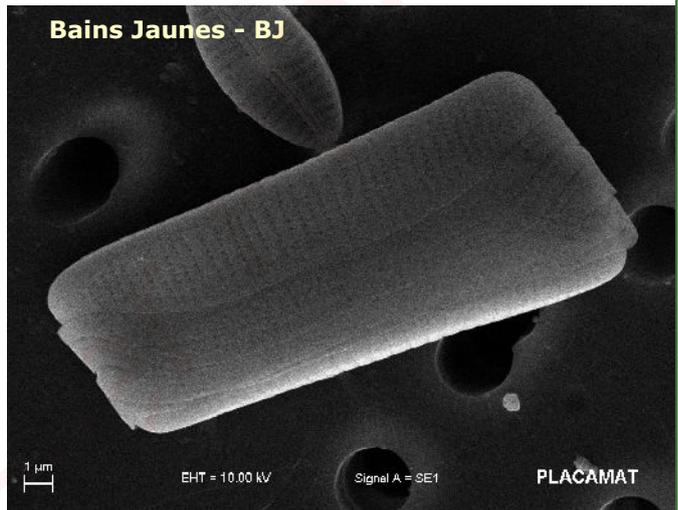
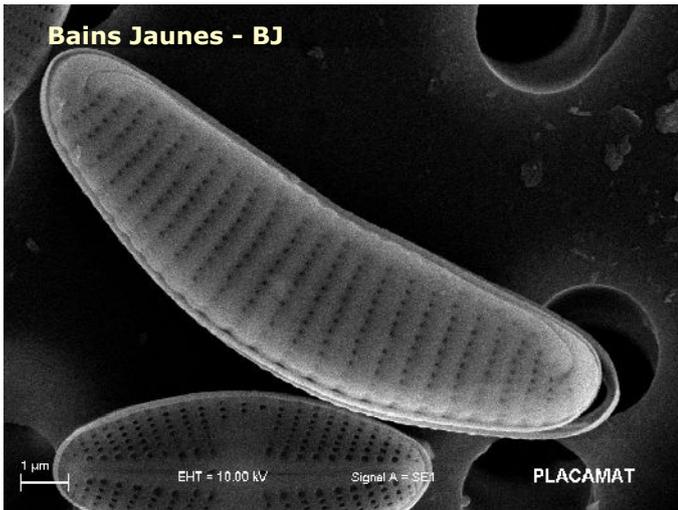
Eunotia rhomboidea (ERHO)



- 1 Source du Galion - GA
- 2 Bains Jaunes - BJ
- 3 Habitation Revel- HR
- 4 Chute du Carbet - CC

10µm

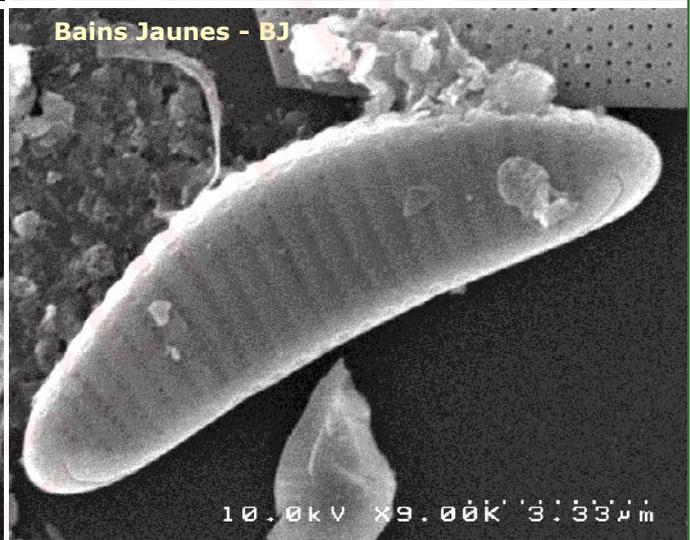
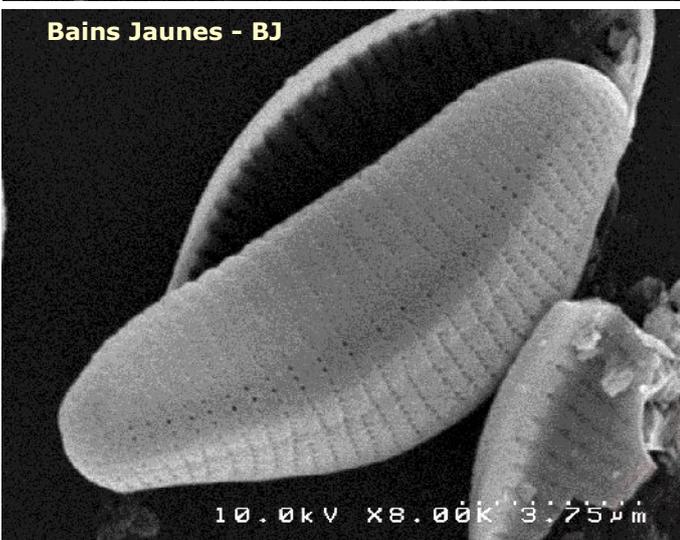
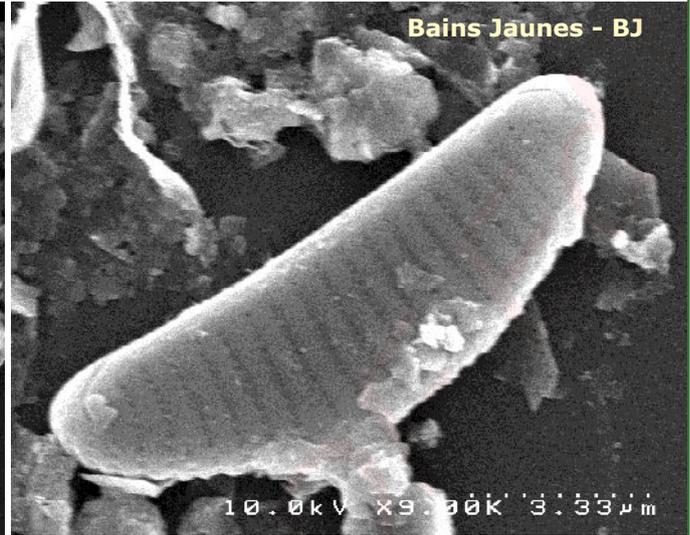
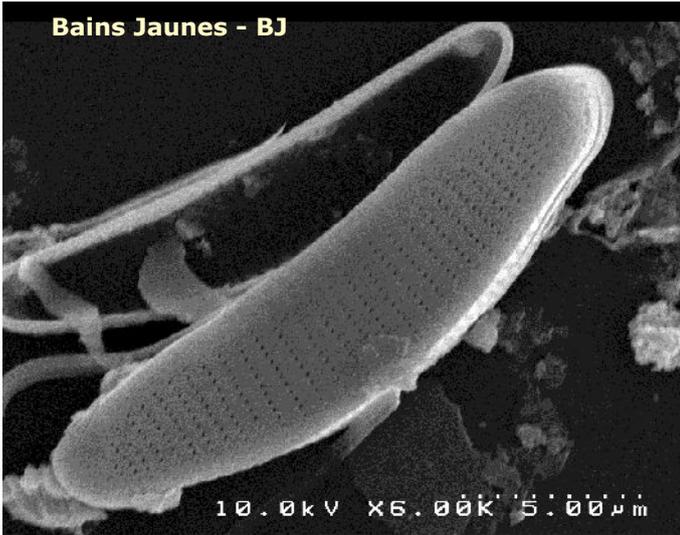
EUNOTIA



Create

***Eunotia rhomboidea* (ERHO)**

EUNOTIA



Created in Micro

***Eunotia sp28* sensu IDA = *E. faba* (EFAB)**



5

- 1 Source du Galion - GA
- 2 Bains Jaunes - BJ
- 3 Bains chaudes du Matouba - BCM Bassin
- 4 Chute du Carbet - CC
- 5 Chute du Carbet - CCBIS

10µm

EUNOTIA

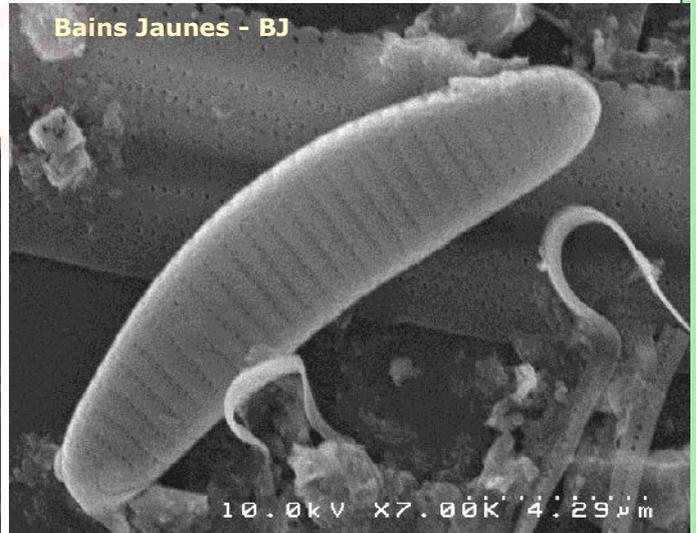
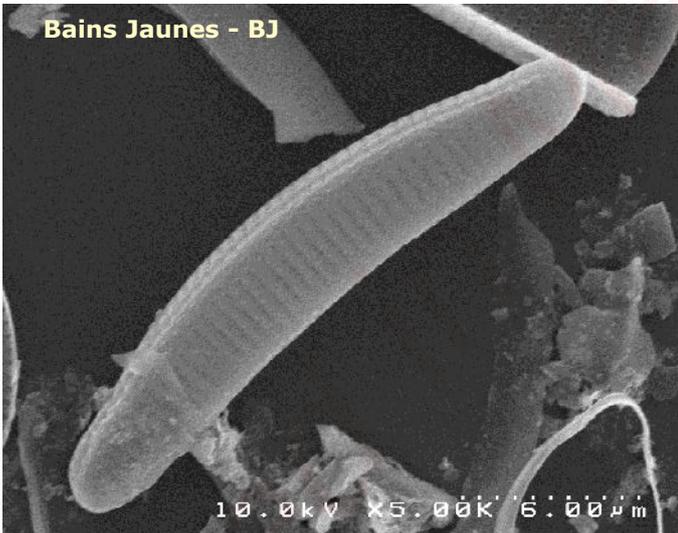
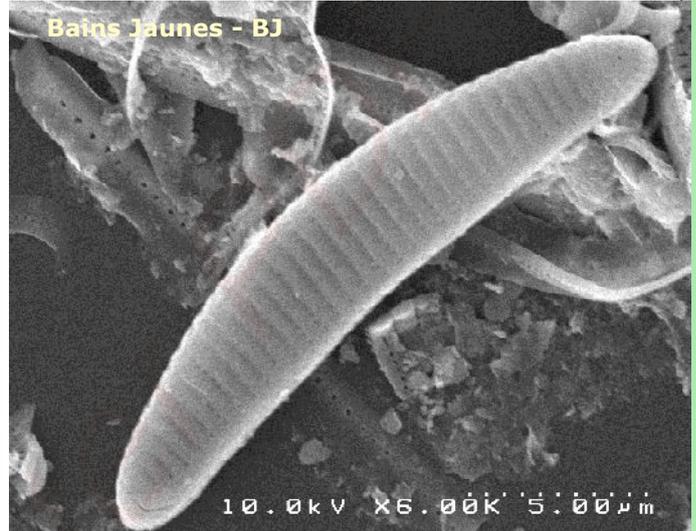
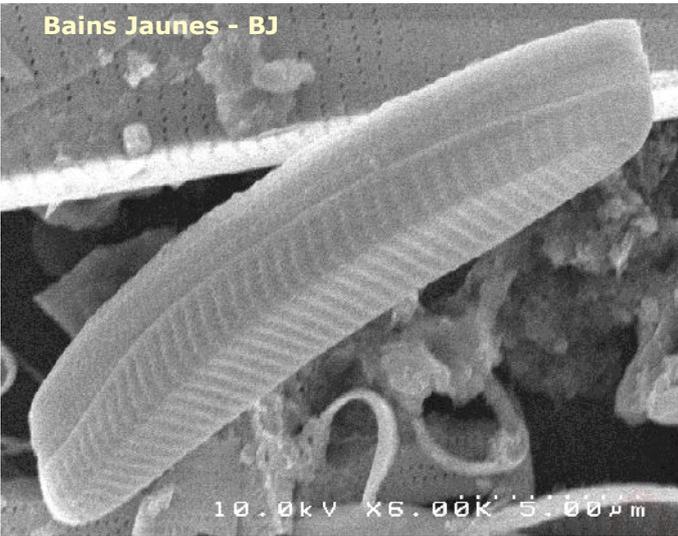
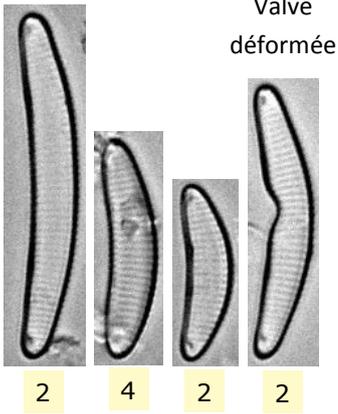
Created in Master PDF Editor

Eunotia subarcuatoides (ESUB)

EUNOTIA

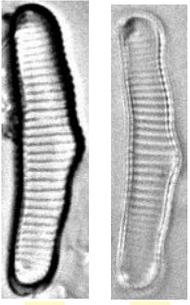
- 1 Source du Galion - GA
- 2 Bains Jaunes - BJ
- 3 Bains chaudes du Matouba - BCM Bassin
- 4 Chute du Carbet - CC

10µm



Create

Eunotia aff. tridentula sensu Brenesia 55-56 Pl2 Fig12 (ETRI)

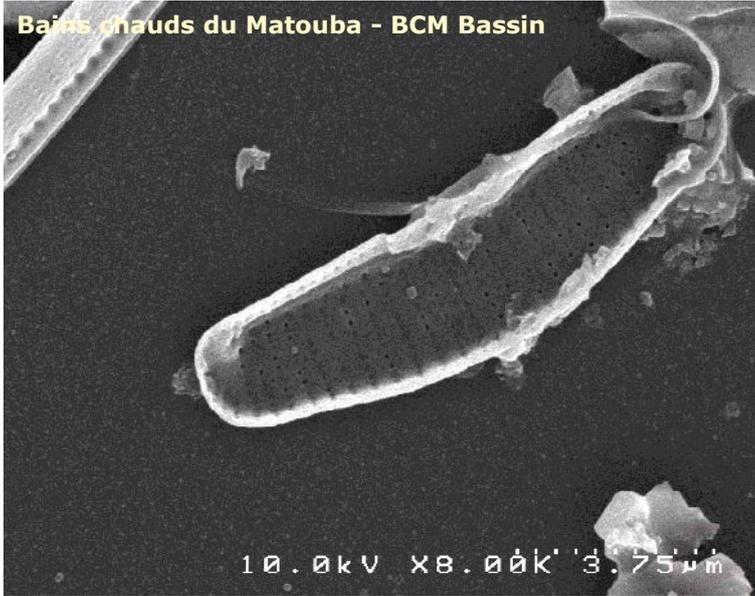


4

3

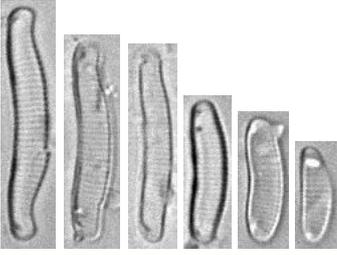
- 1 Source du Galion - GA
- 2 Bains Jaunes - BJ
- 3 Bains chaudes du Matouba - BCM Bassin
- 4 Chute du Carbet - CC

10µm



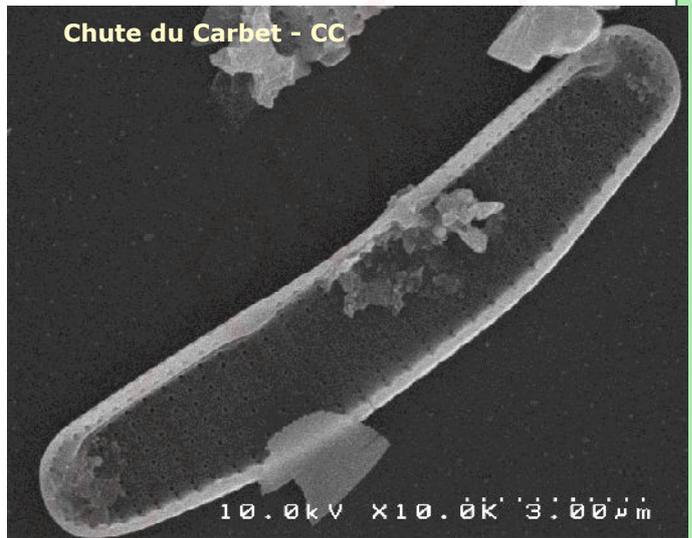
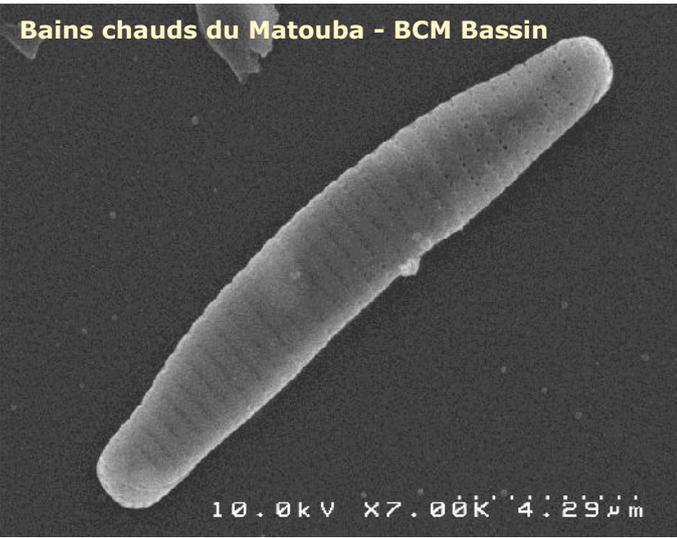
Created in Maqwer PDF Editor

***Eunotia nanolusitanica* (ENNL)**



10µm

3 Bains chauds du Matouba - BCM Bassin



EUNOTIA

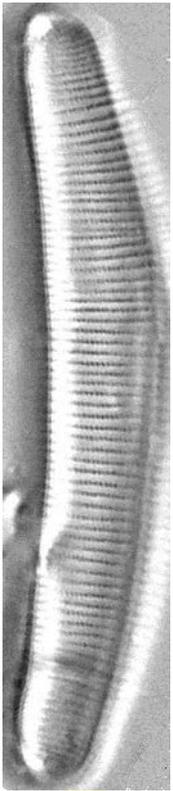
Created with

***Eunotia* sp25 sensu IDA = *E. soleirolii* (ESOL)**

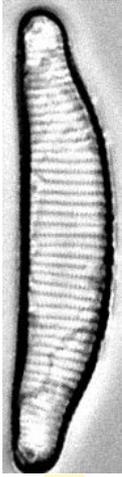
- 1 Source du Galion - GA
- 2 Bains Jaunes - BJ
- 3 Bains chaudes du Matouba - BCM Bassin
- 4 Chute du Carbet - CC
- 5 Chute du Carbet - CCBIS

10µm

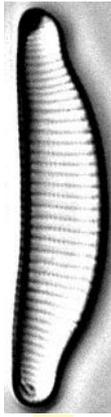
EUNOTIA



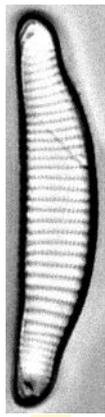
5



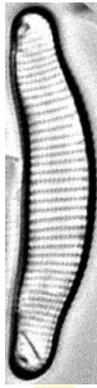
5



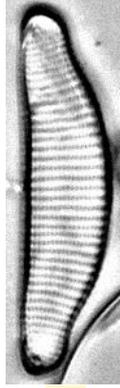
5



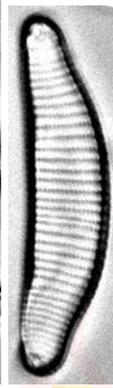
5



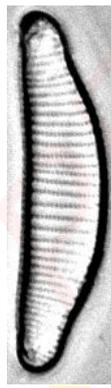
5



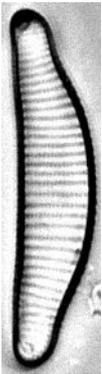
5



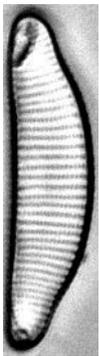
5



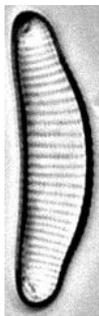
5



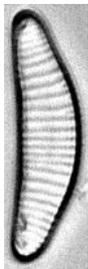
5



5



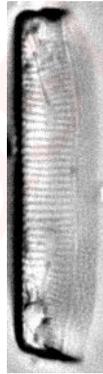
5



5



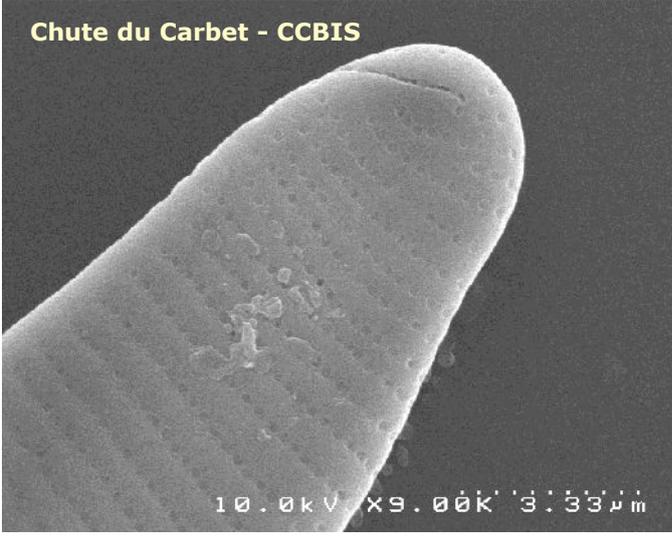
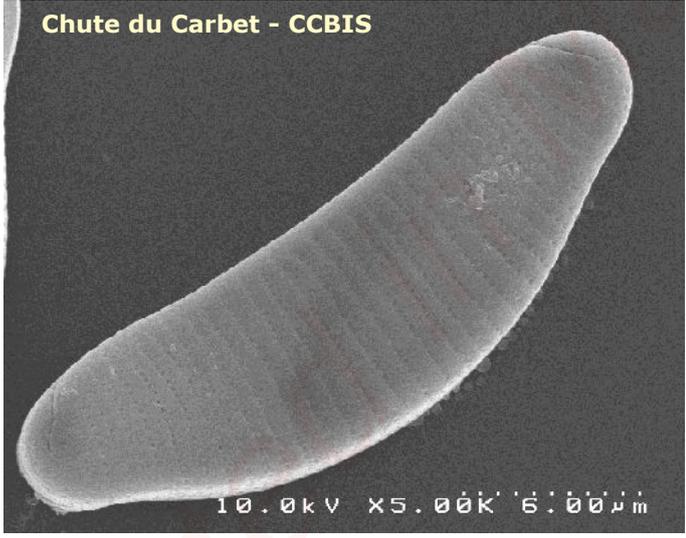
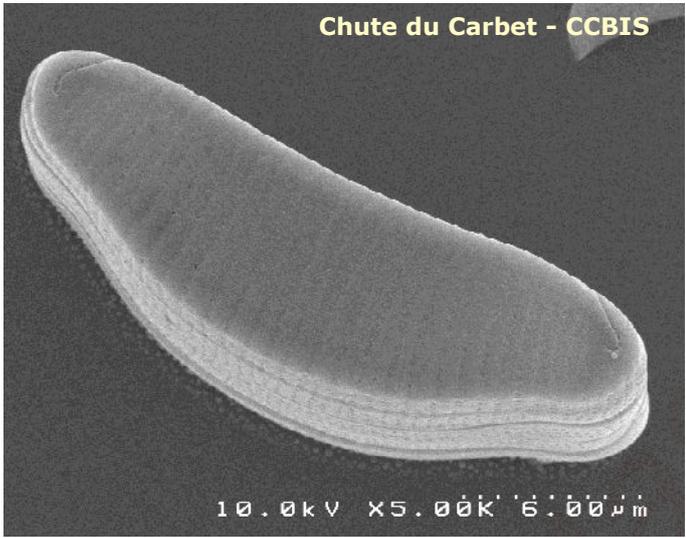
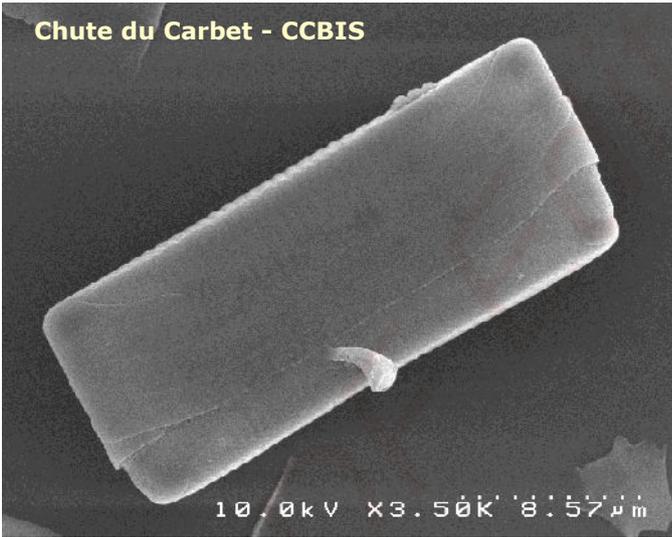
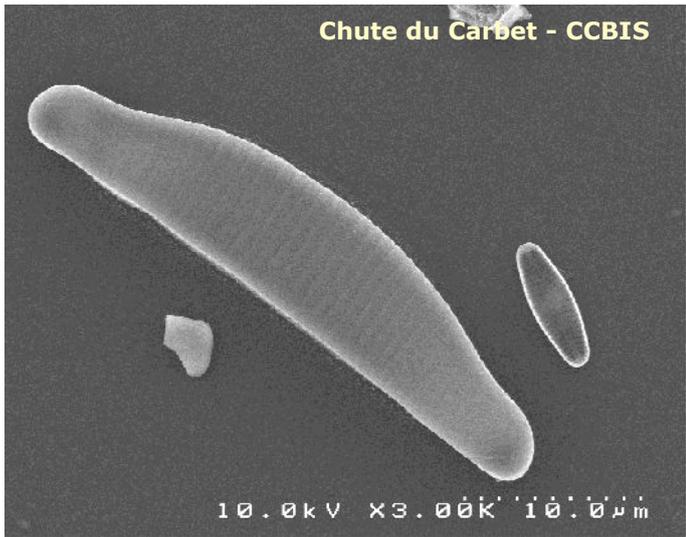
5



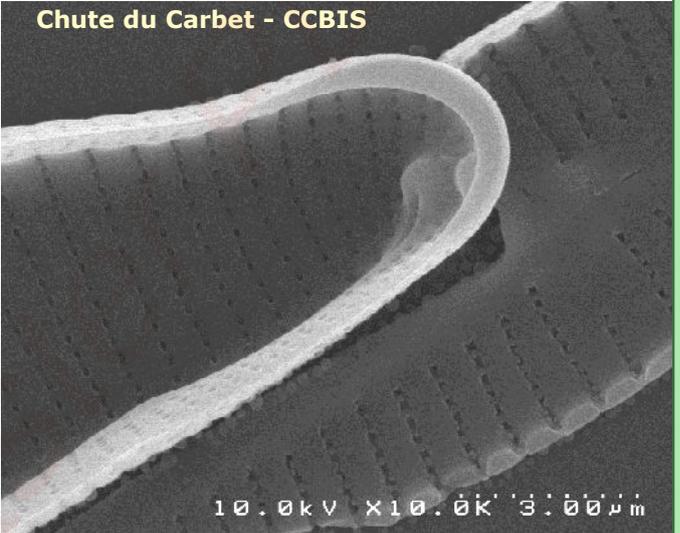
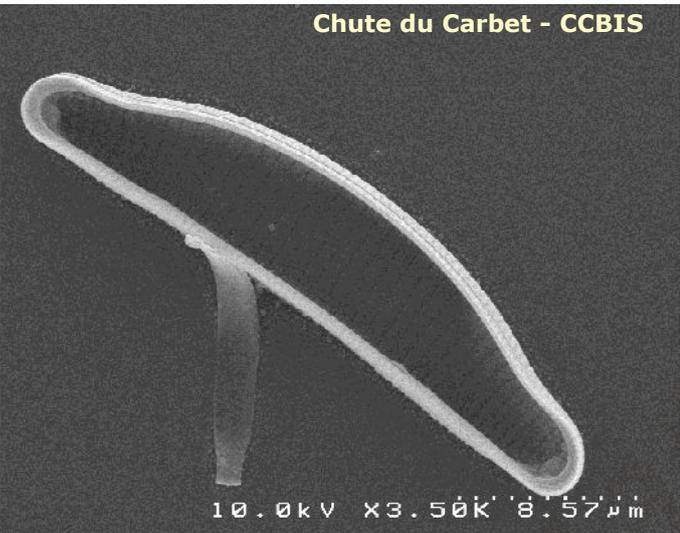
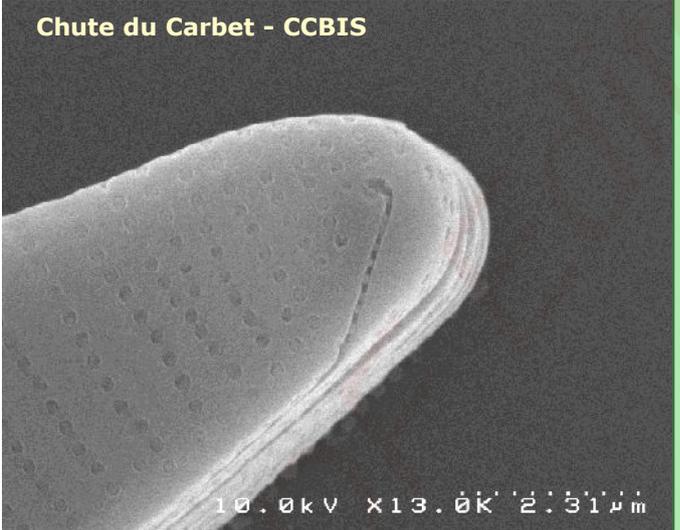
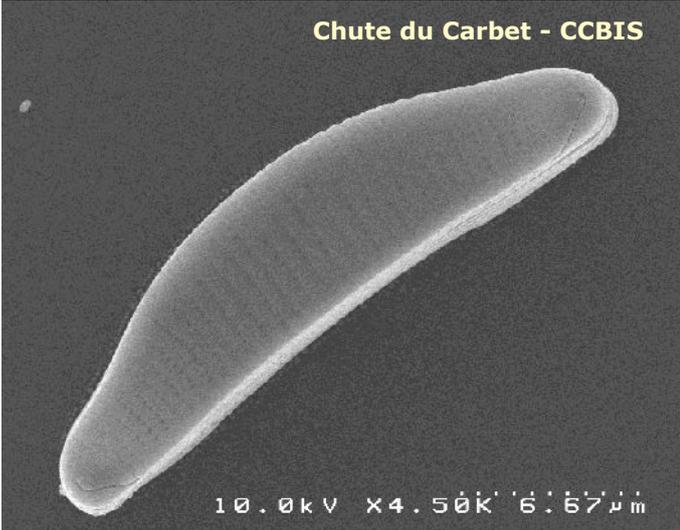
5

Created in Ma... OF Edit...

***Eunotia* sp25 sensu IDA = *E. soleirolii* (ESOL)**

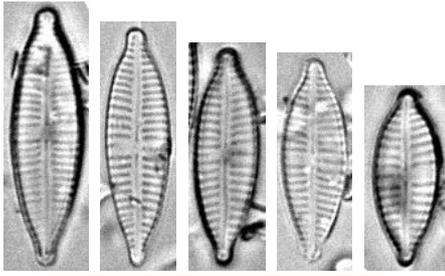


***Eunotia* sp25 sensu IDA = *E. soleirolii* (ESOL)**



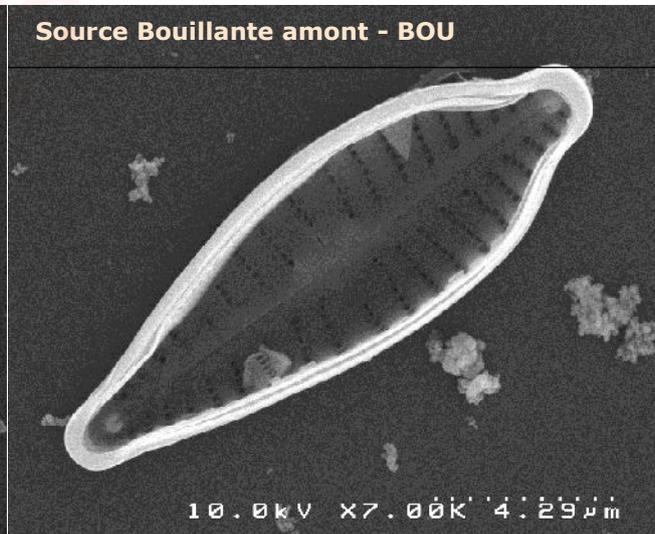
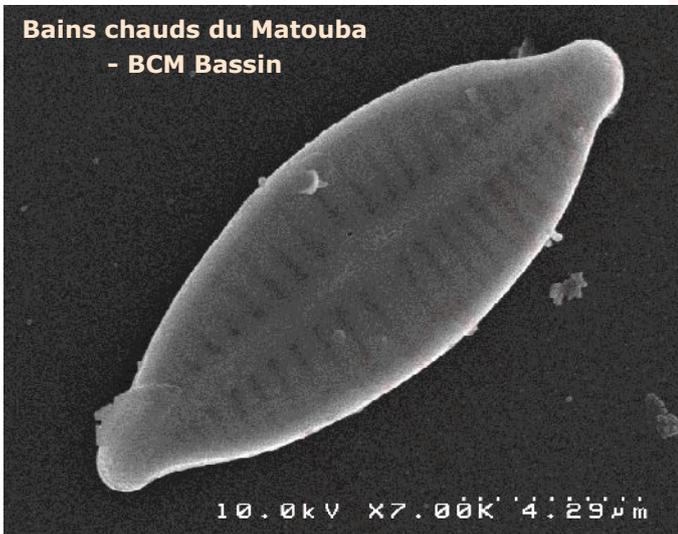
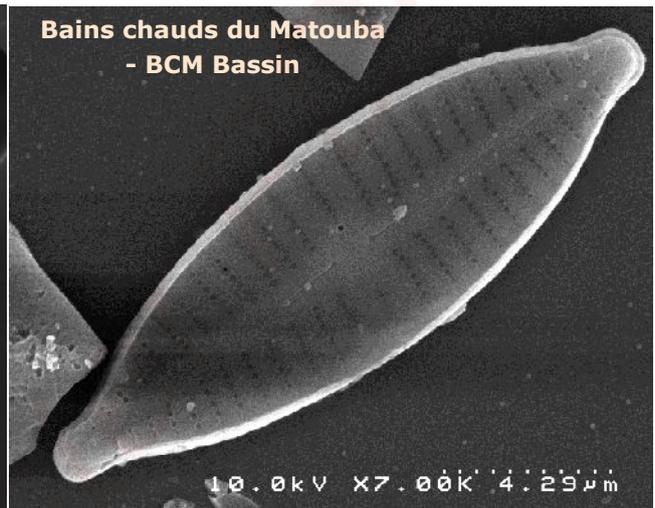
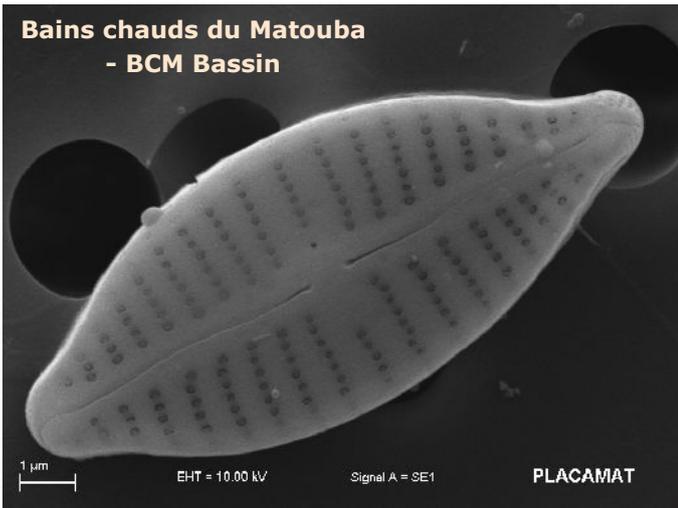
Created in Micro

Gomphonema parvulum (GPAR)

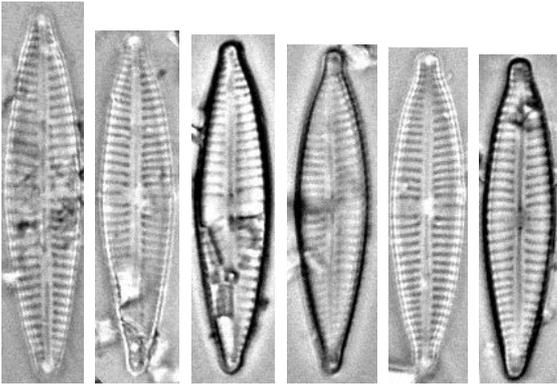


10µm

Bains chauds du Matouba
- BCM Bassin

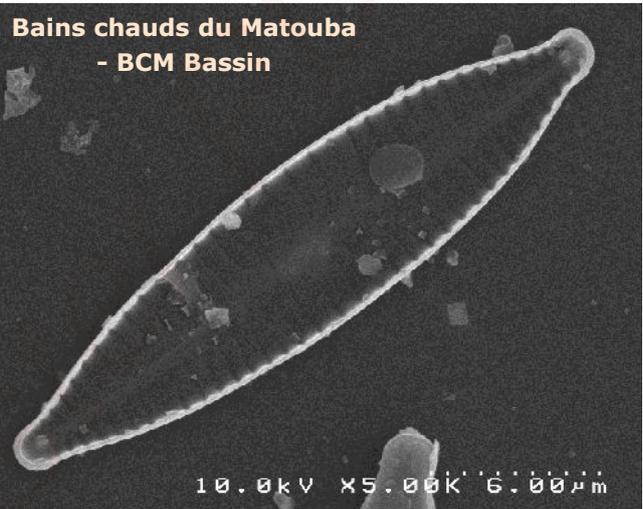
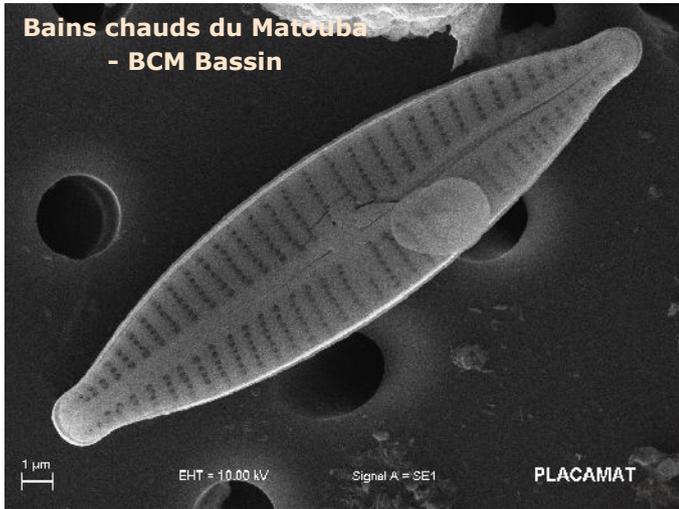


Gomphonema exilissimum(GEXL)



10µm

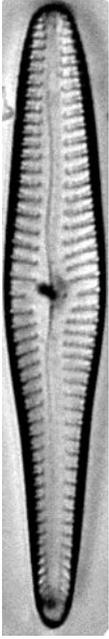
Bains chauds du Matouba
- BCM Bassin



GOMPHONEMA

Create

***Gomphonema subclavatum* (GSCL)**



10µm

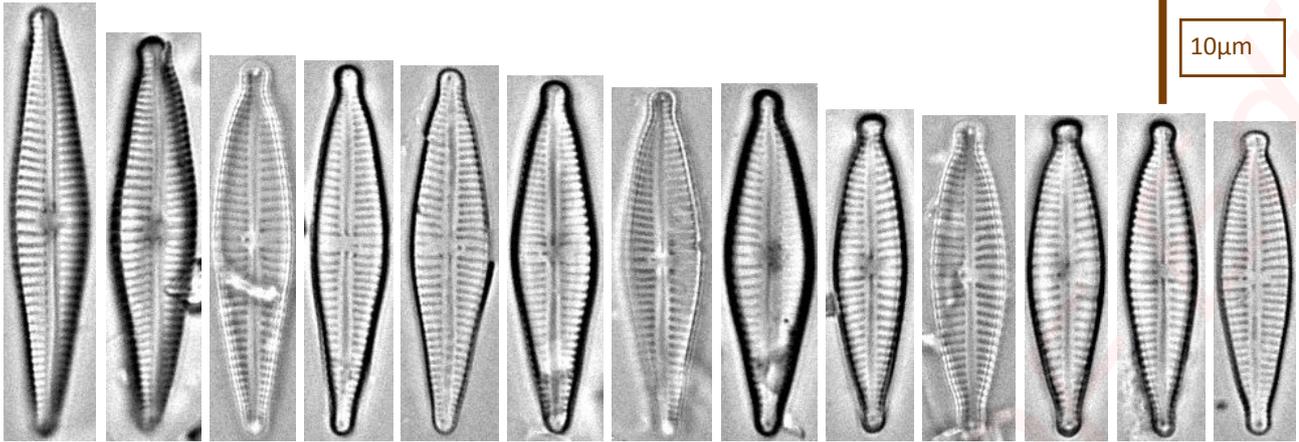
Sources du Galion - GA

GOMPHONEMA

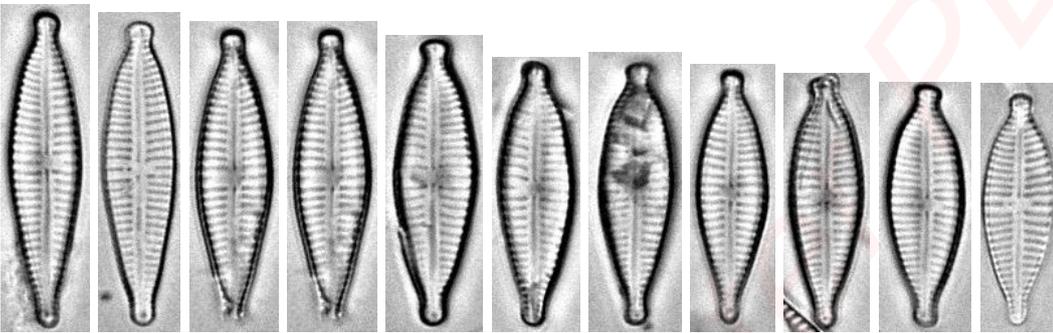
Created in Master PDF Editor

Gomphonema sp45 (GO45) cf. G. lagenula

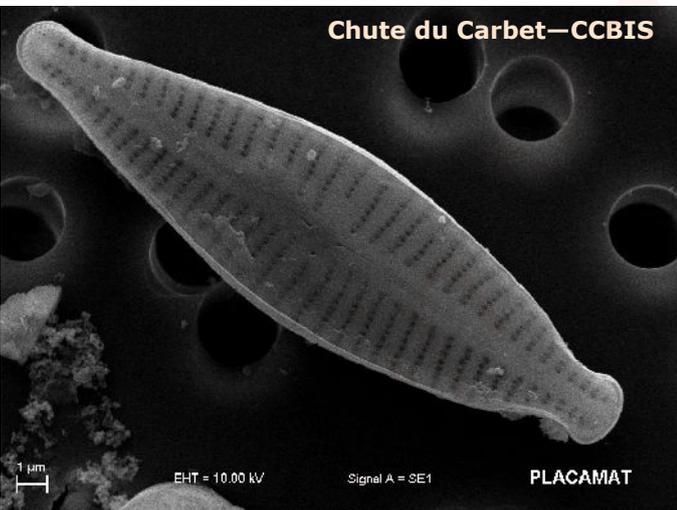
GOMPHONEMA



Chute du Carbet - CCBIS



Chute du Carbet - CCBIS

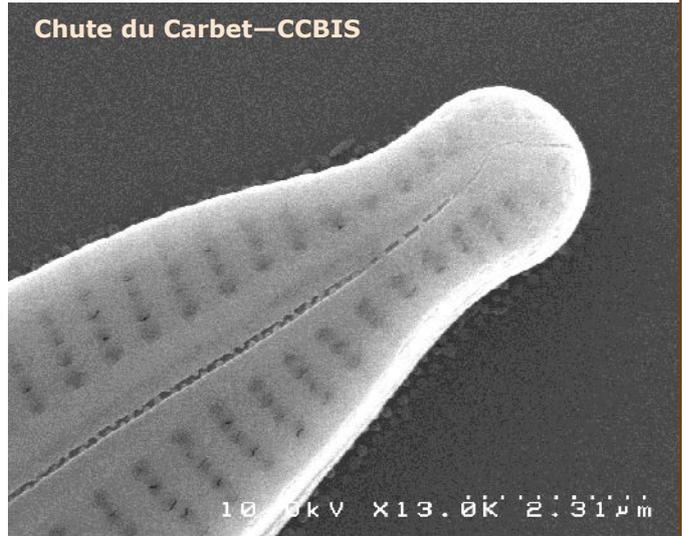
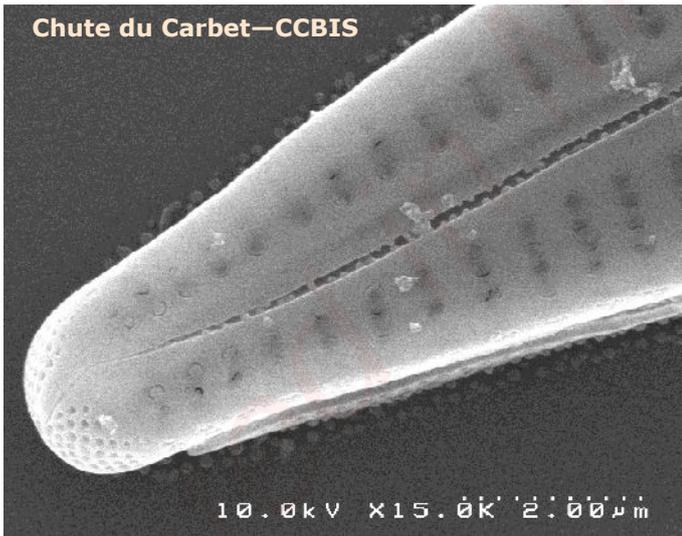
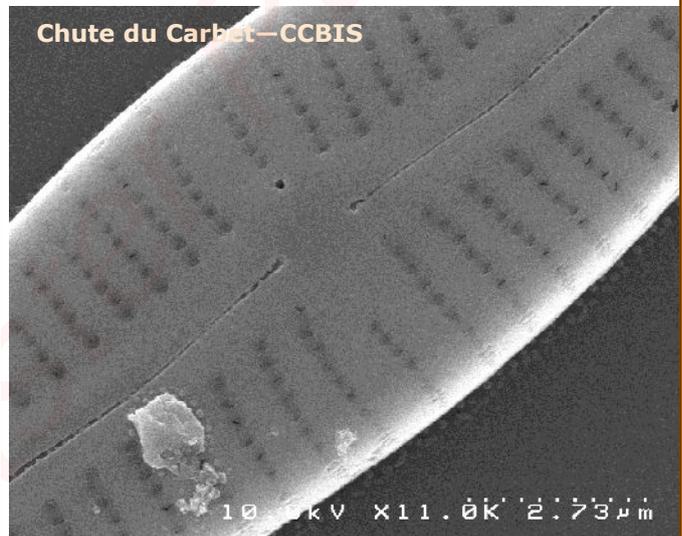
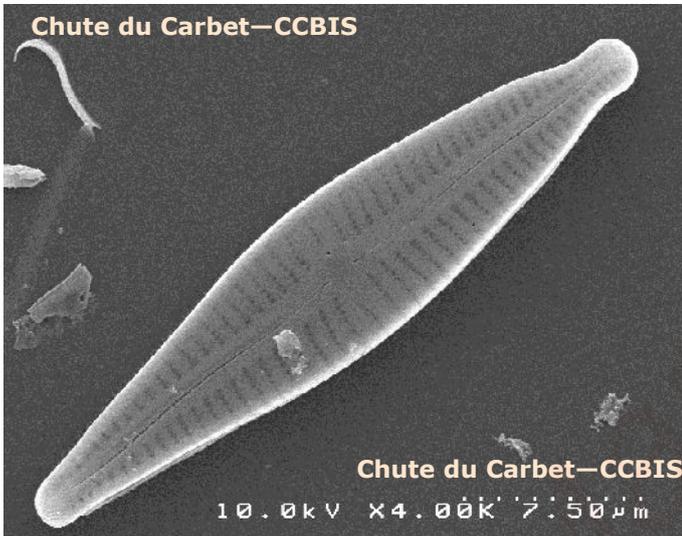
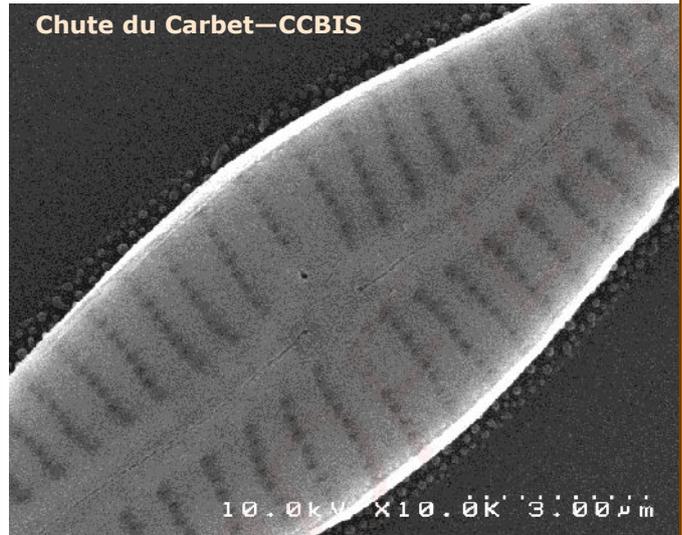
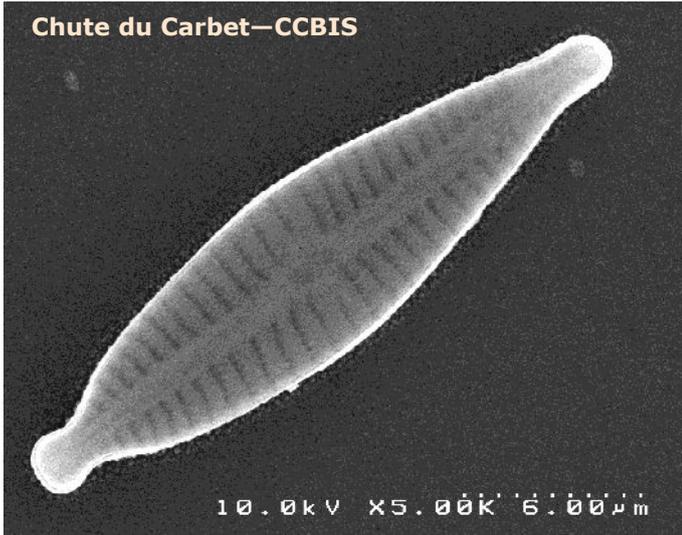


Chute du Carbet—CCBIS

Create

Gomphonema sp45 (GP45)

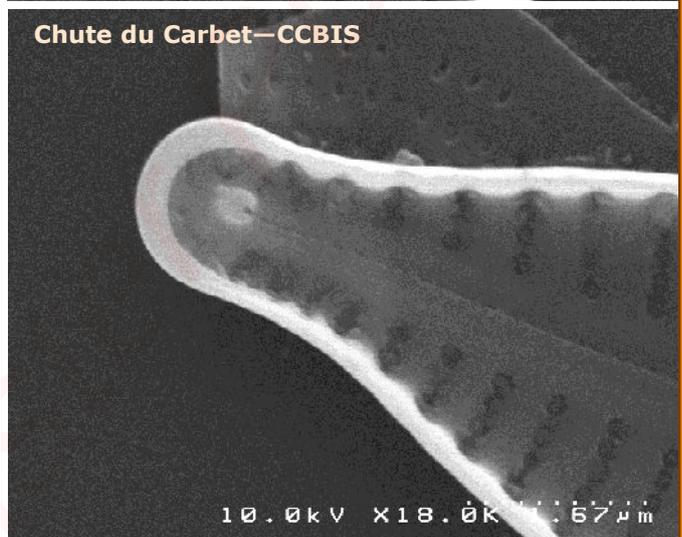
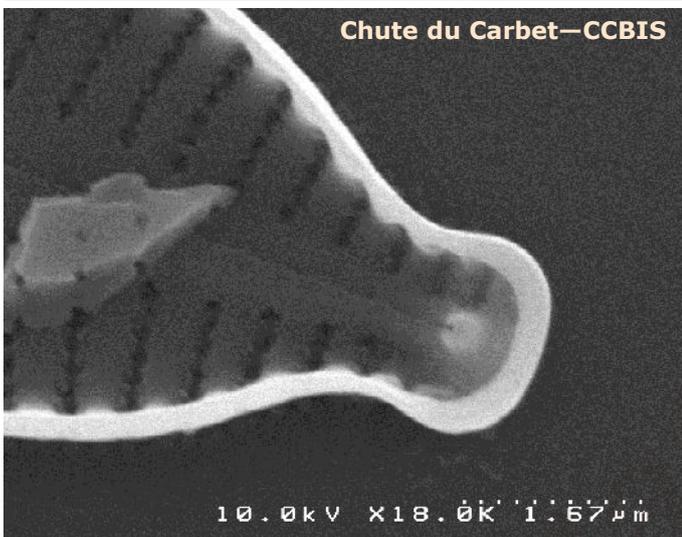
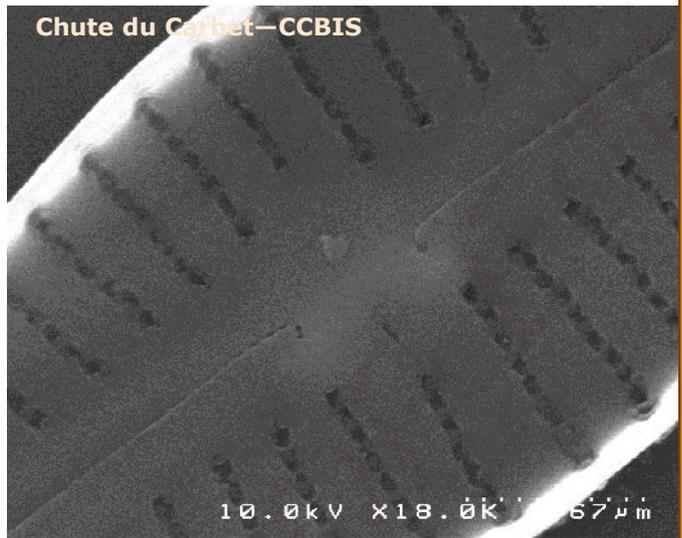
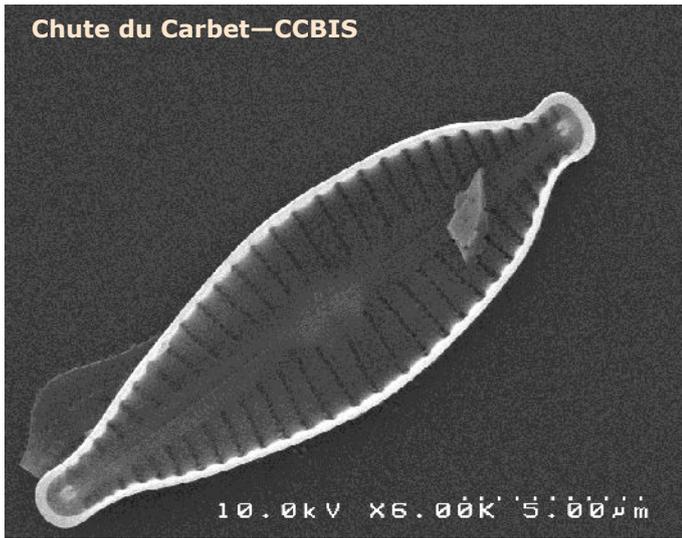
GOMPHONEMA



Created with

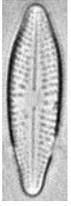
Gomphonema sp45 (GP45)

GOMPHONEMA



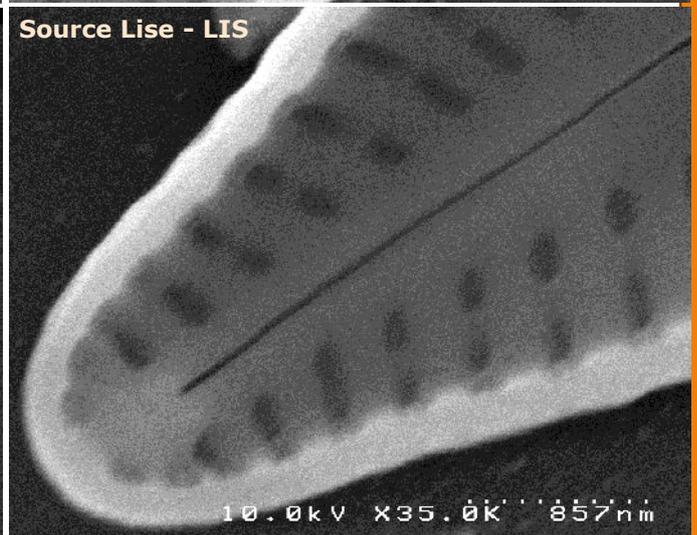
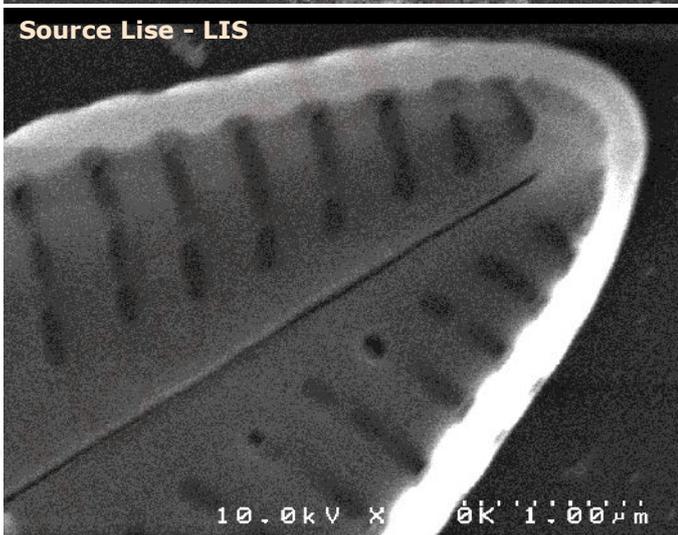
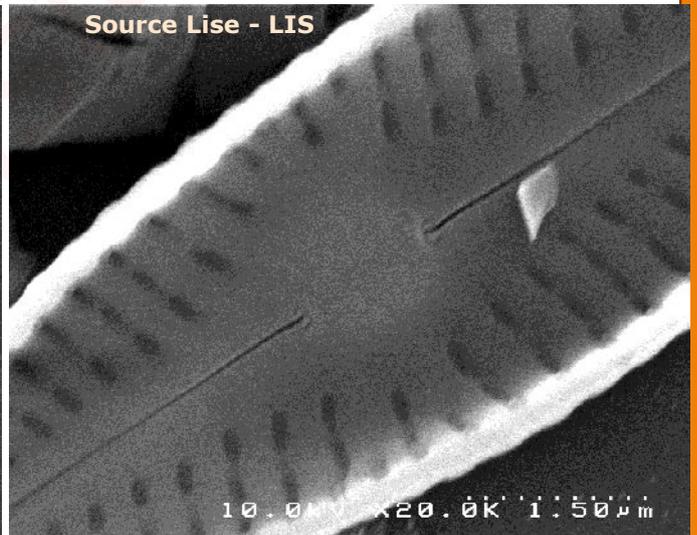
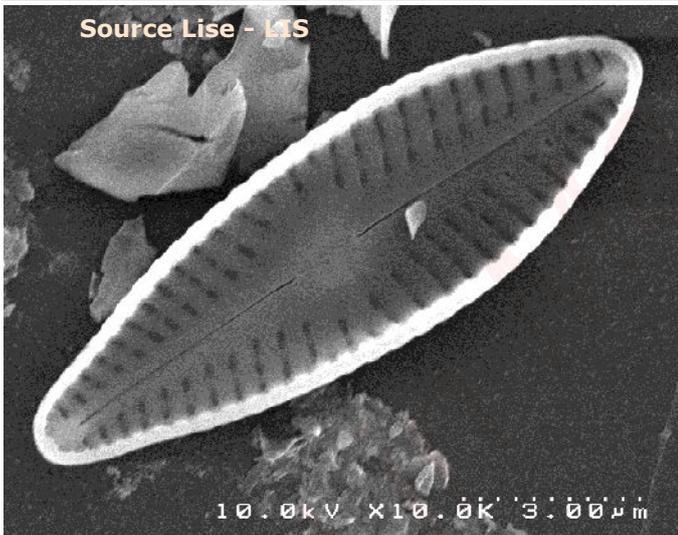
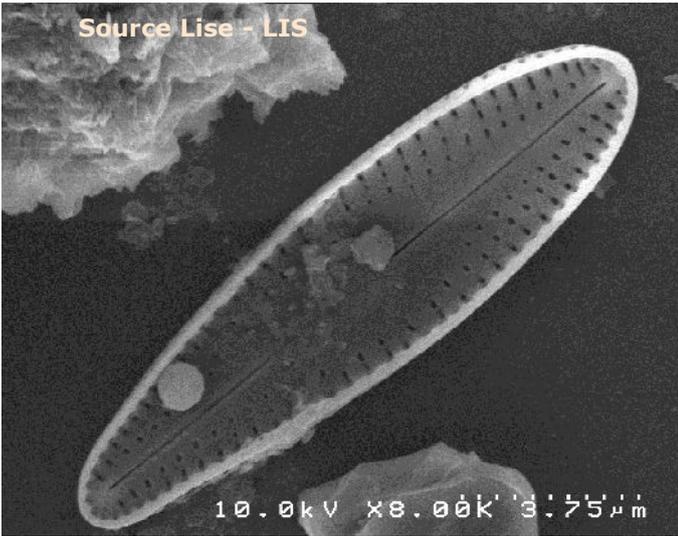
Created in Micro

***Gomphosphenia tenerrima* (GTNR)**

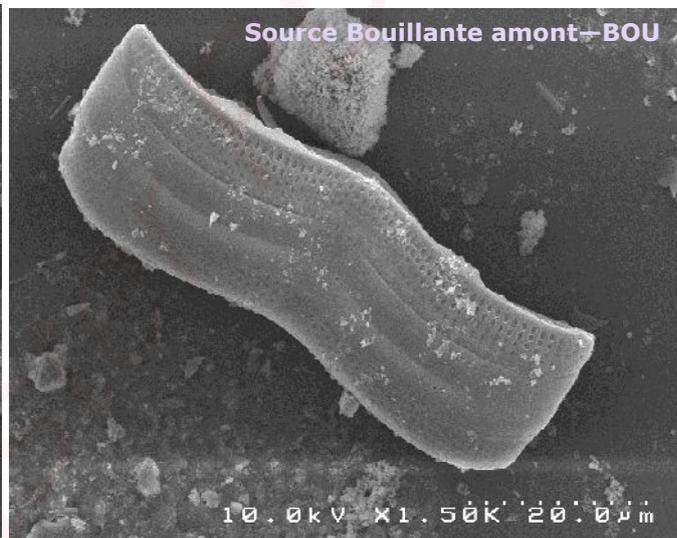
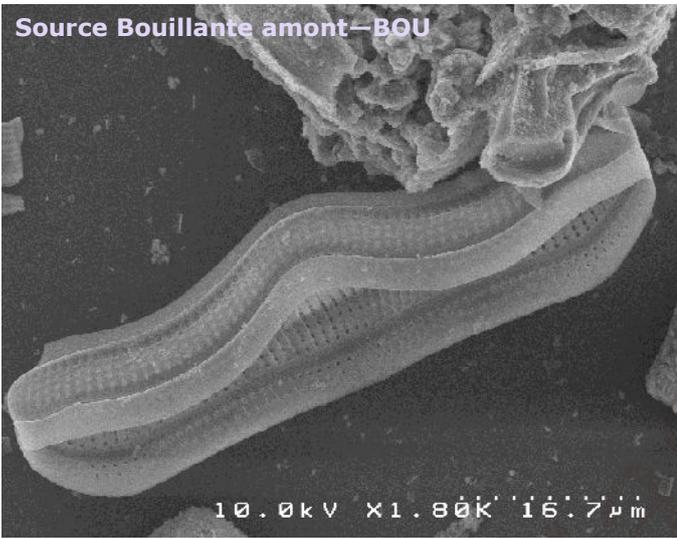
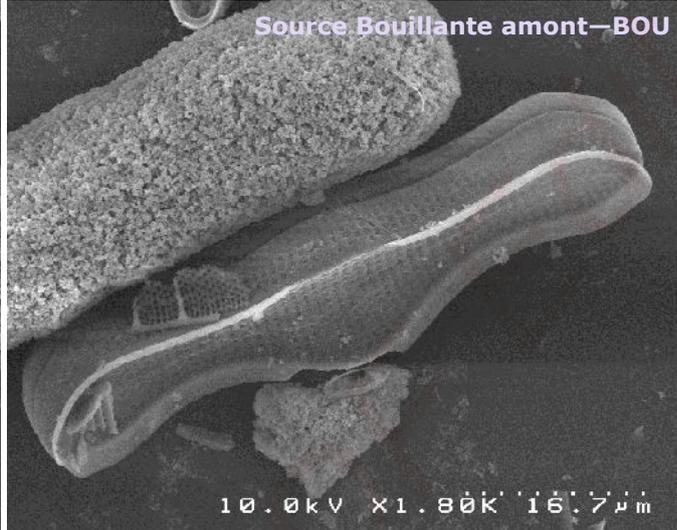
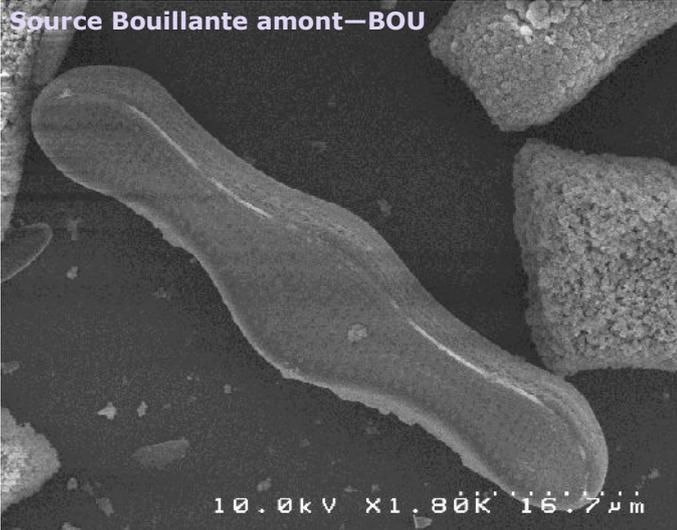


Source Lise - LIS

10µm

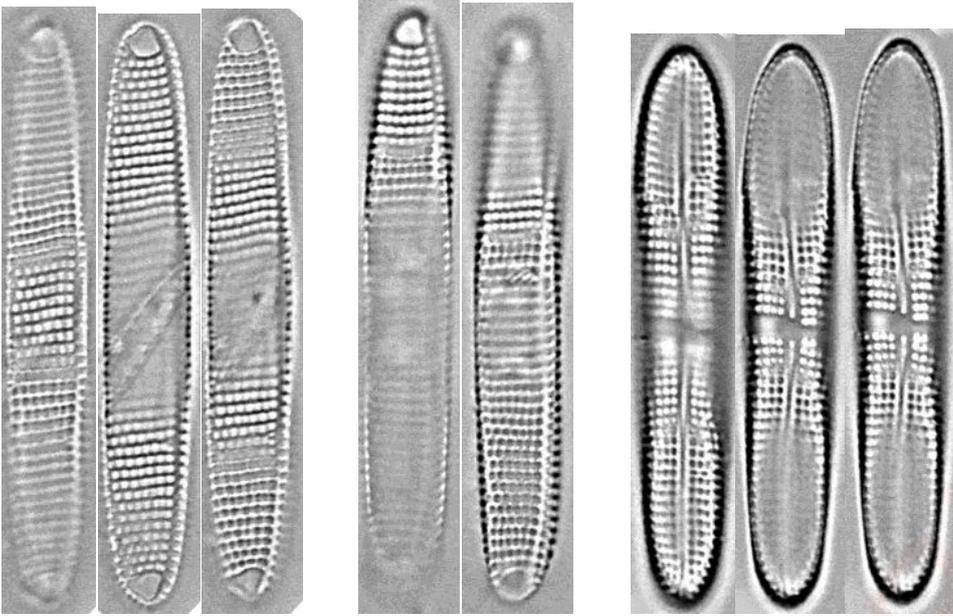


***Achnanthes inflata* (AINF)**

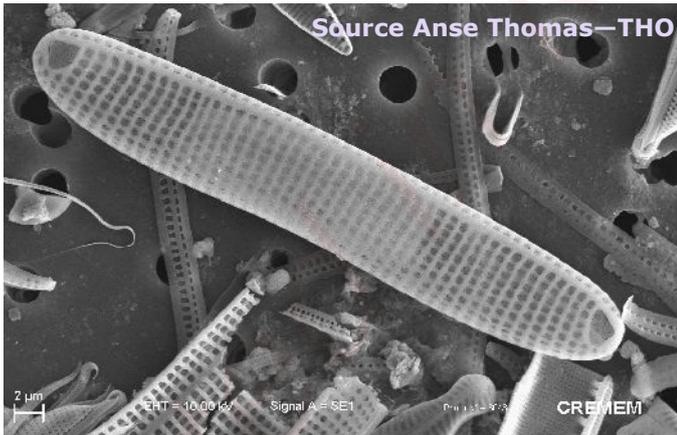
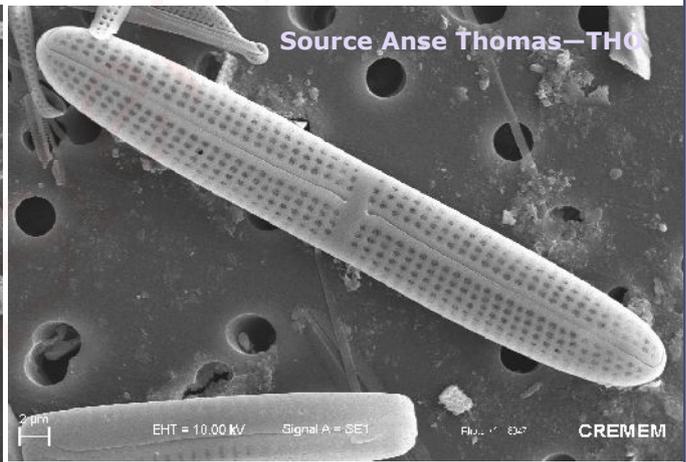
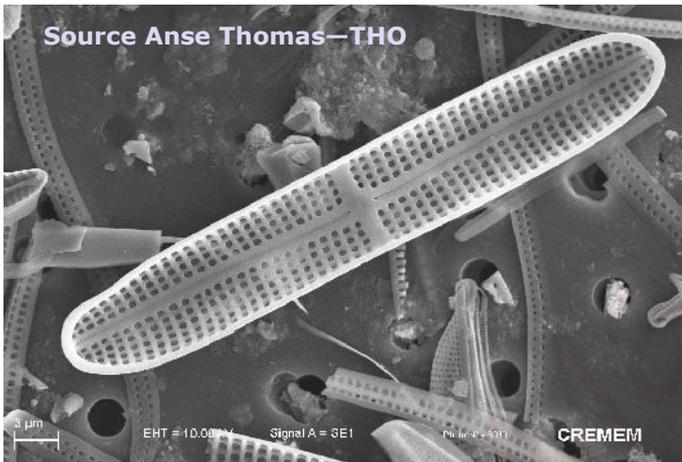


Created in MicroStation

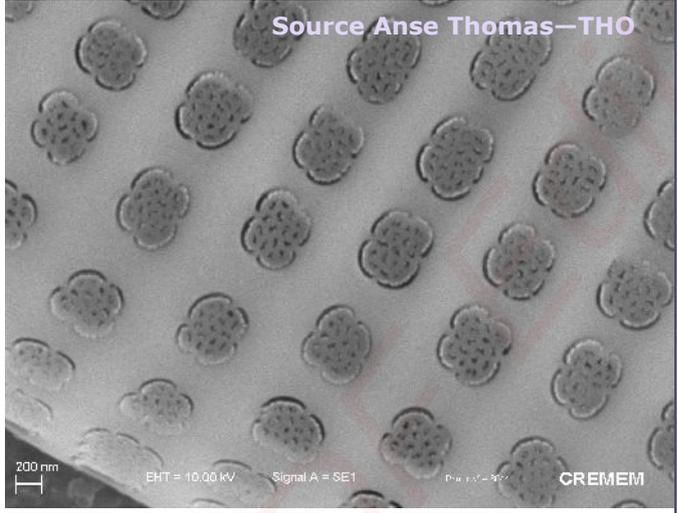
Achnanthes kuwaitensis (AKUW)



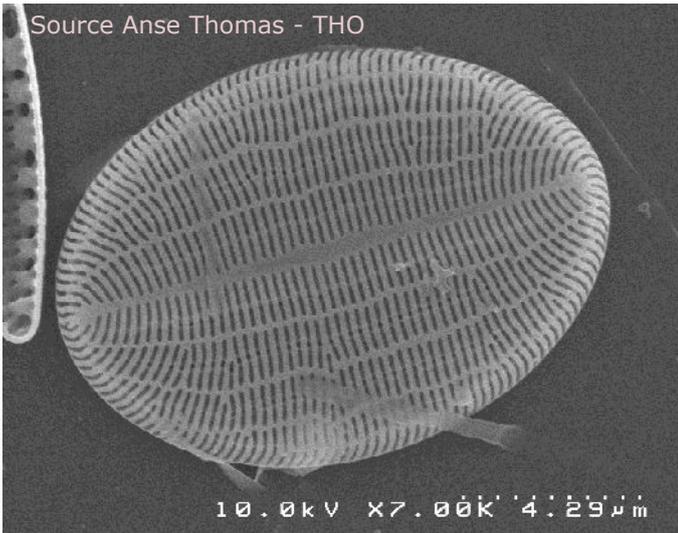
Source Anse Thomas - THO



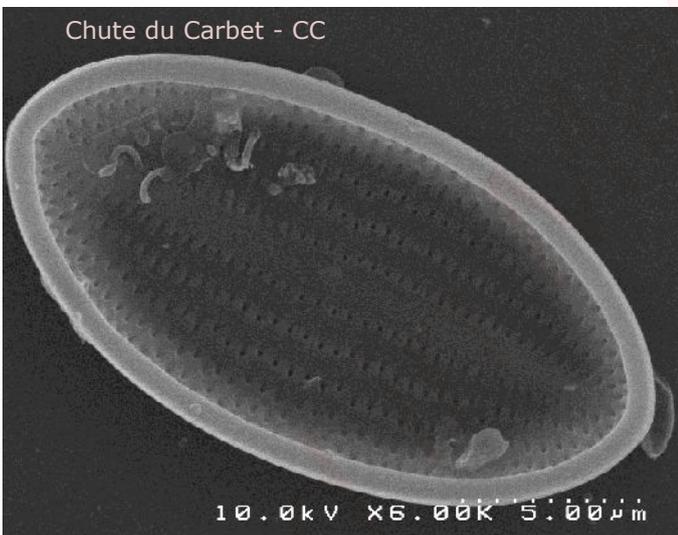
***Achnanthes kuwaitensis* (AKUW)**



Created in Mac

***Cocconeis aff. Krammeri* (COKR)**

L'absence de valve à raphé ne permet pas d'identifier l'espèce avec certitude mais cette valve sans raphé pourrait être une valve de *Cocconeis krammeri* déjà observée sur les sédiments coralliens de l'île de la Réunion

***Cocconeis euglypta* (CEUG)**

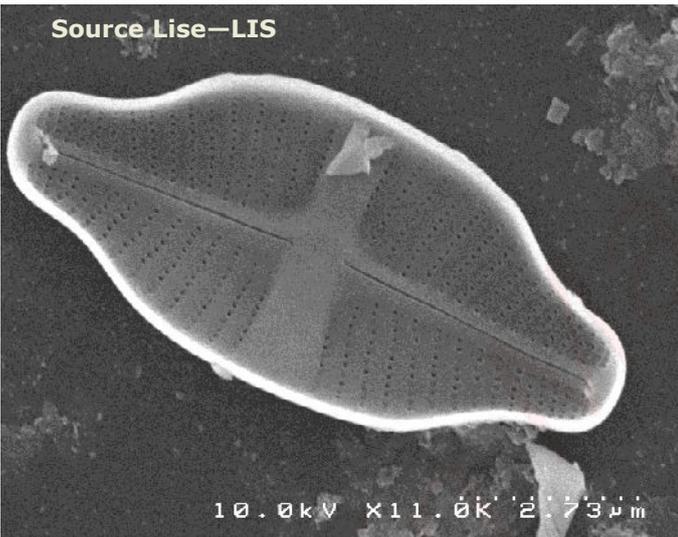
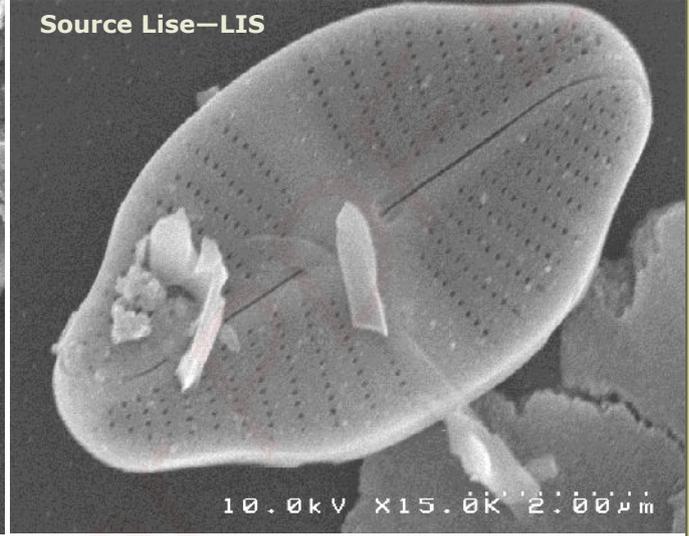
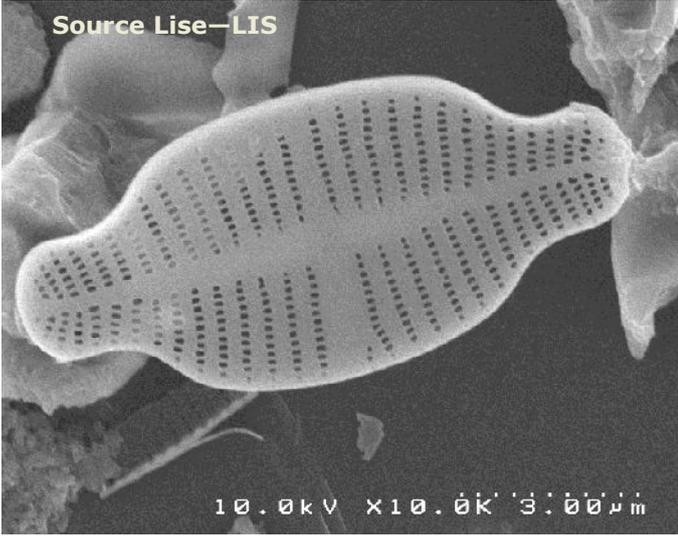
***Achnantheidium exiguum* (ADEG)**



10µm

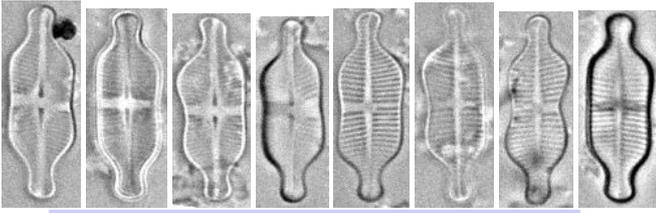
Chute du Carbet—CCBIS

ACHNANTHIDIUM



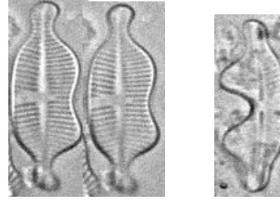
Created in

***Achnantheidium exiguum* var. *constrictum* (ACEC)**

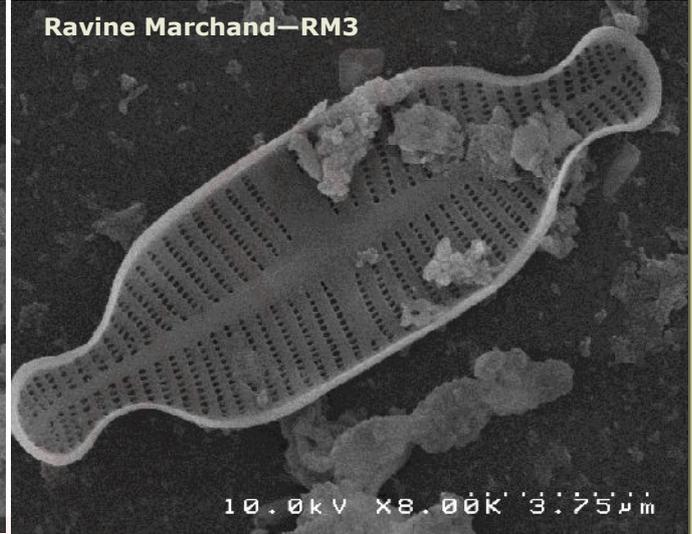
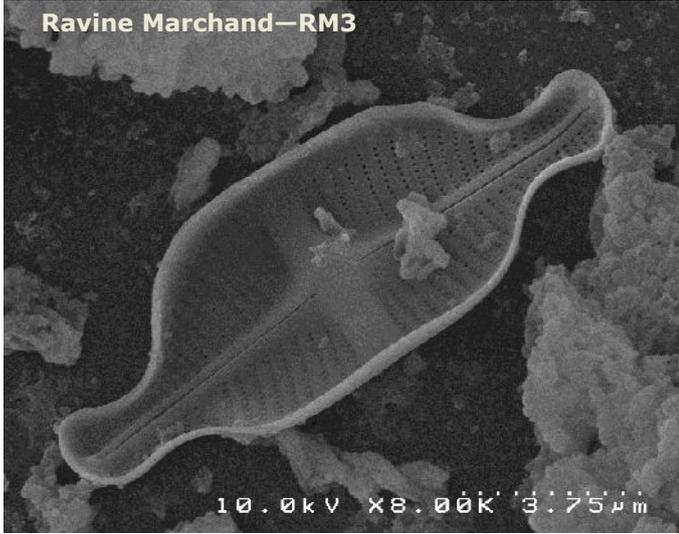


Ravine Marchand—RM3

Valves déformées

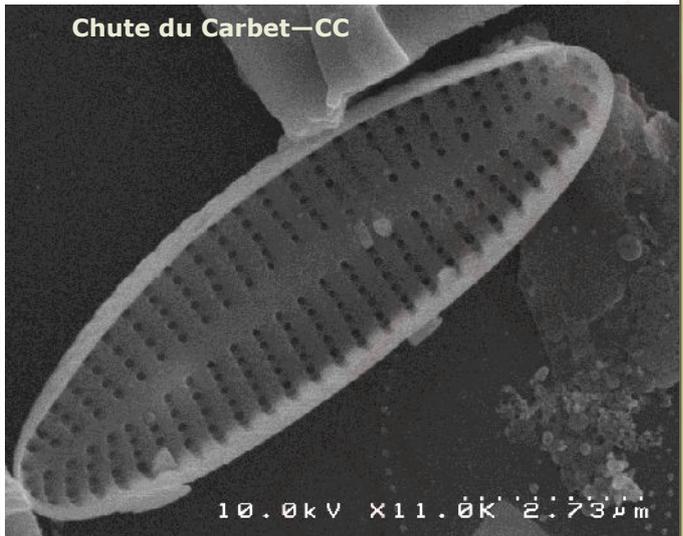
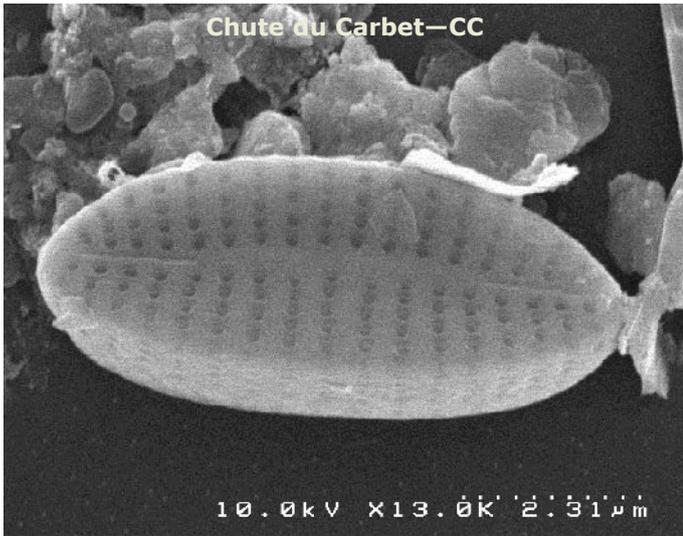


10µm



Created in Mas

***Achnantheidium subhudsonis* (ADSH)**

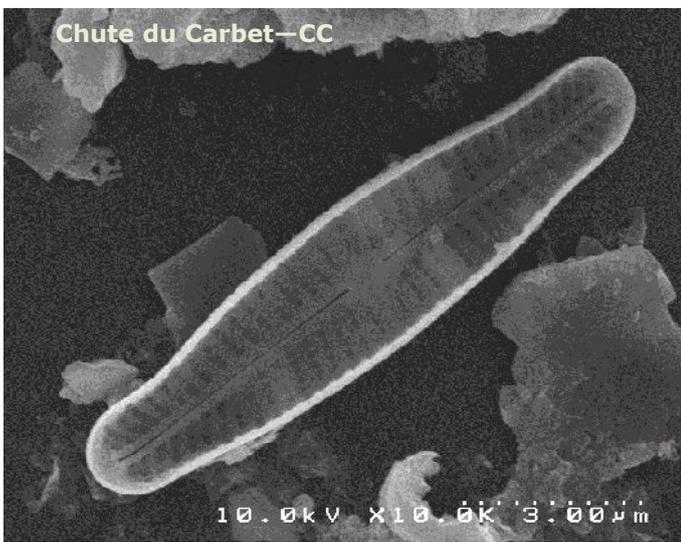
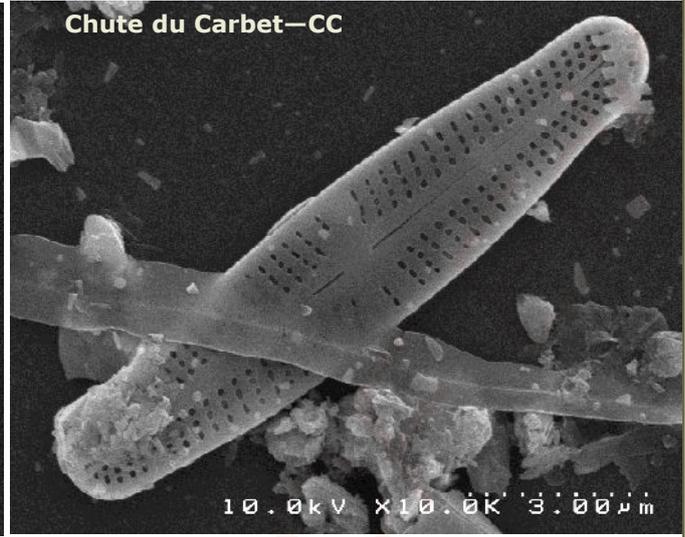
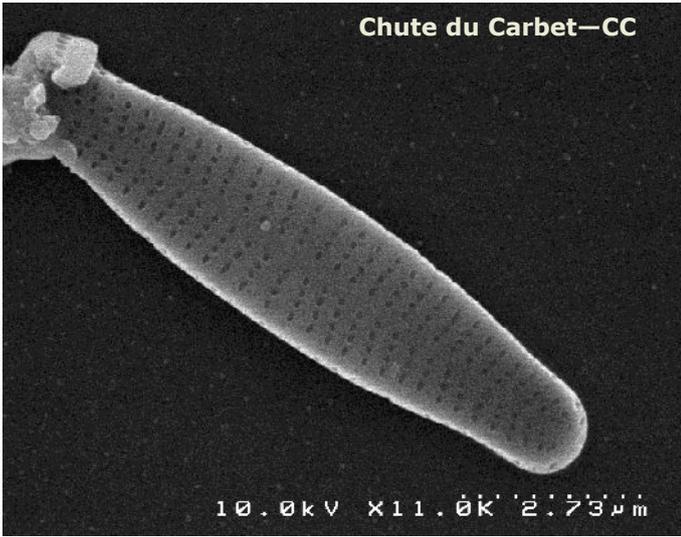


ACHNANTHIDIUM

Created in Master PL

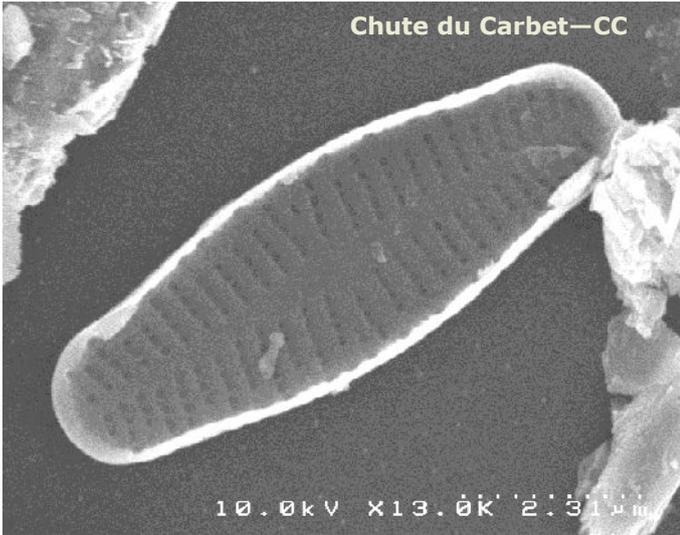
***Achnantheidium minutissimum* sl (ADMI)**

ACHNANTHIDIUM



Created in Master PL

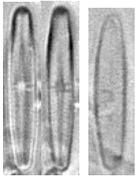
Achnanthydium sp01 (AD01)



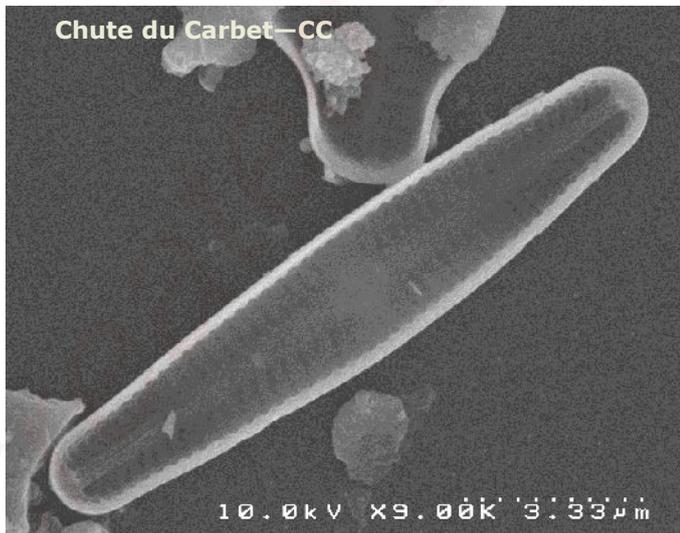
10µm

ACHNANTHYDIUM

Achnanthydium sp20 (AD20) cf. A. affine (ACAF)



Chute du Carbet—CC



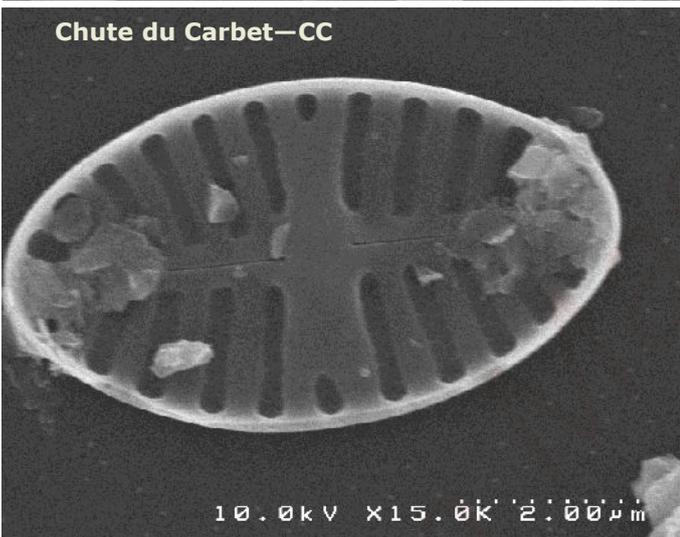
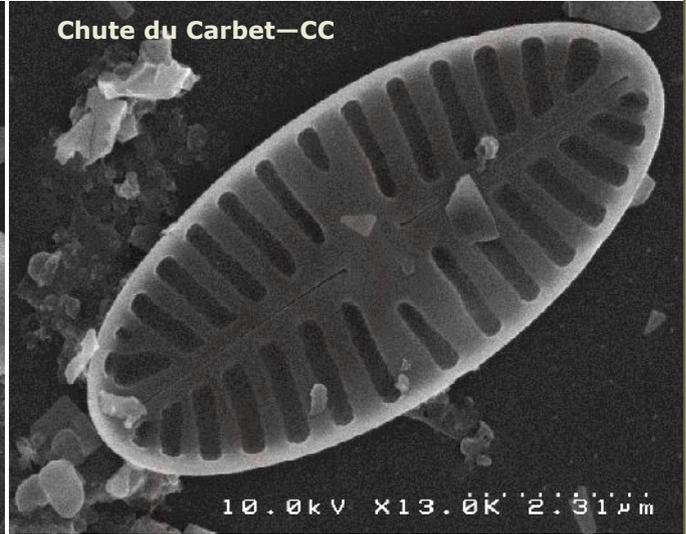
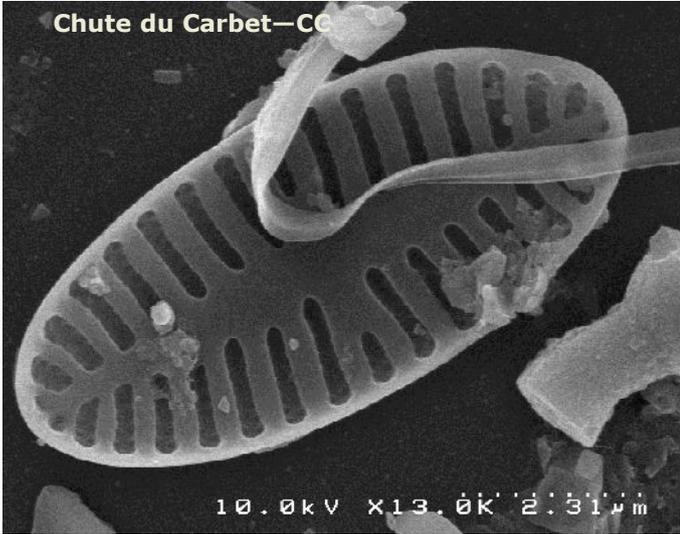
Platessa sp01 (PTS1)



10µm

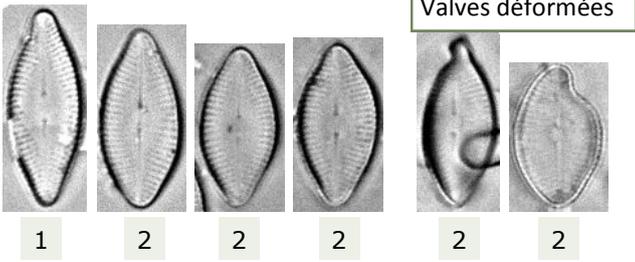
Chute du Carbet—CC

PLATESSA



Created in...

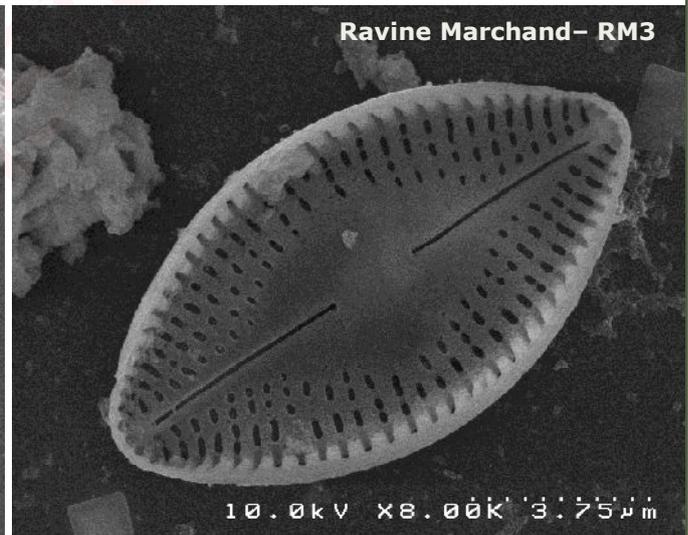
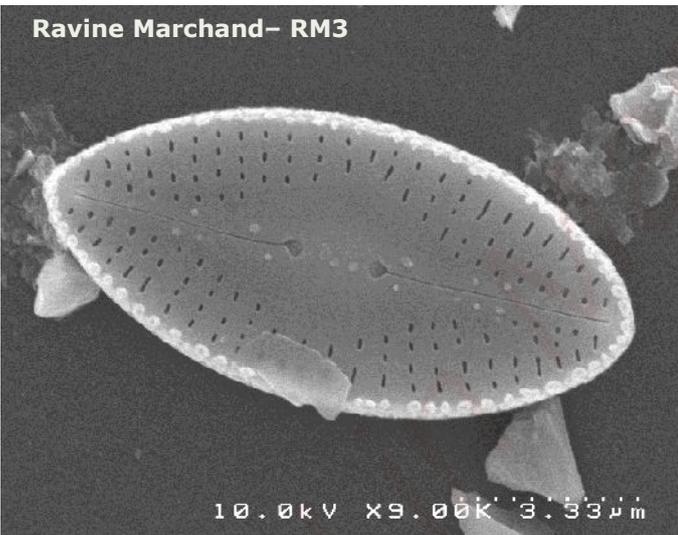
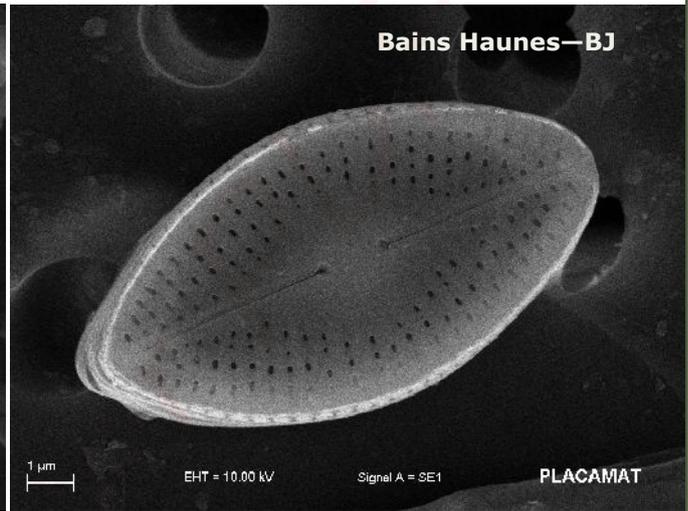
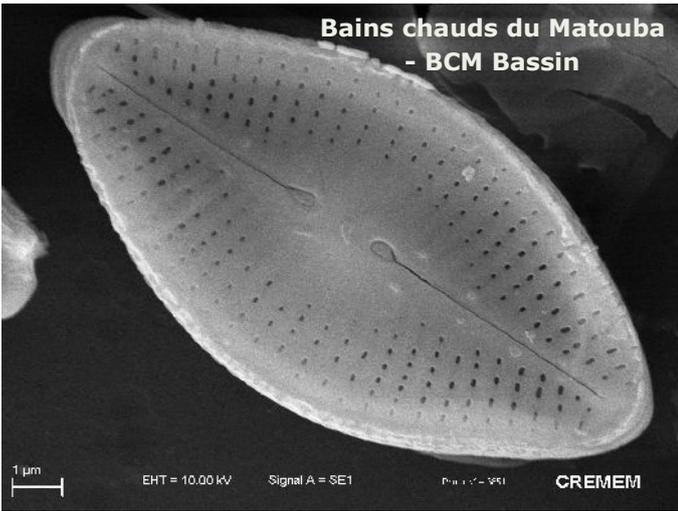
Diadesmis confervacea (DCOF)



- 1 Bains chauds du Matouba - BCM Bassin
- 2 Bains Jaunes - BJ

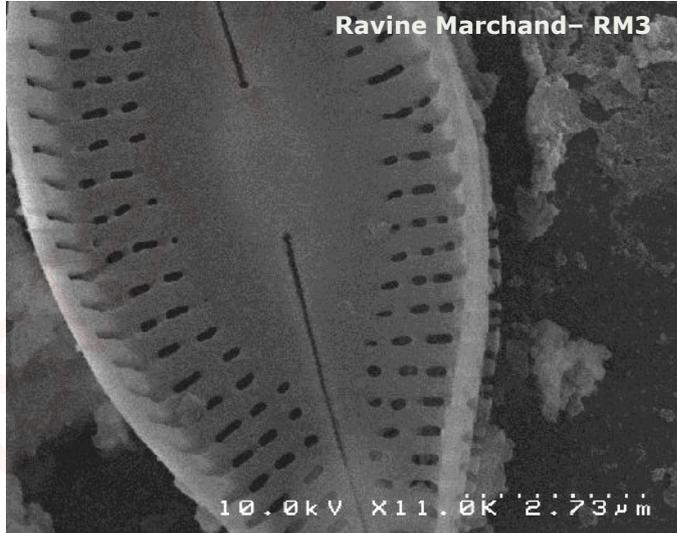
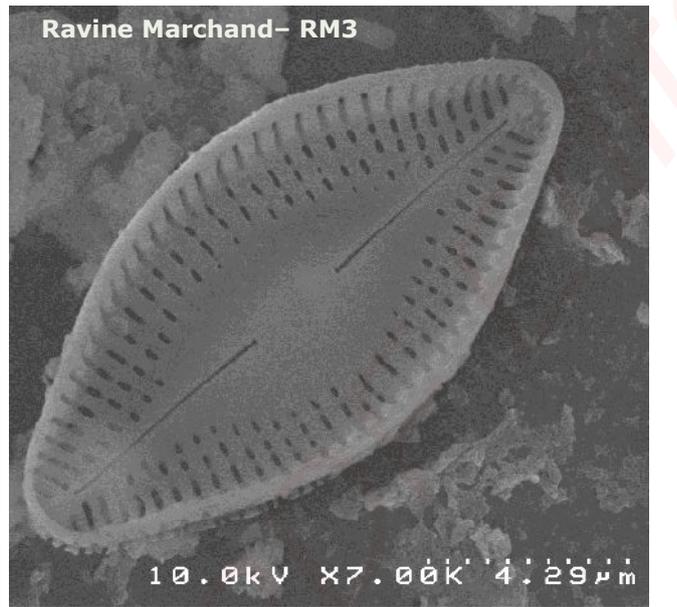
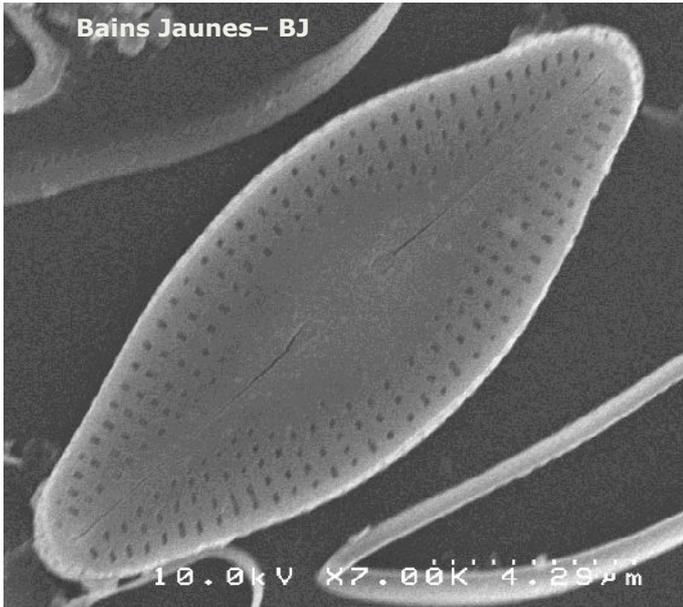
10µm

DIADESMIS

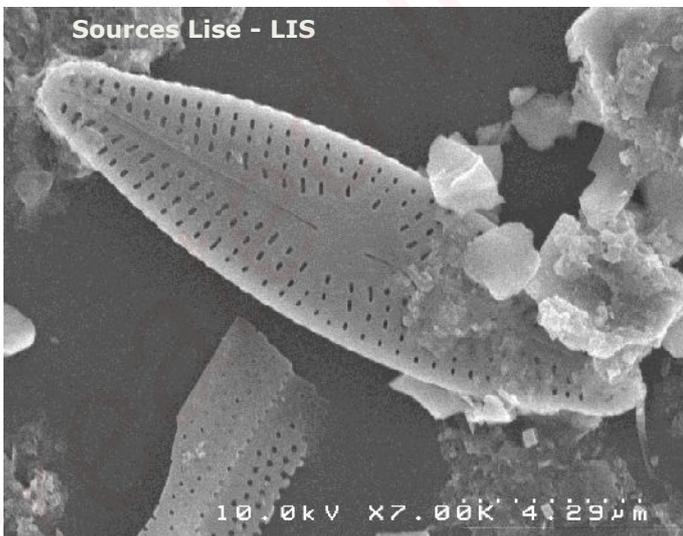


Created with

***Diadesmis confervacea* (DCOF)**



***Diadesmis confervaceoides* (DCFD)**

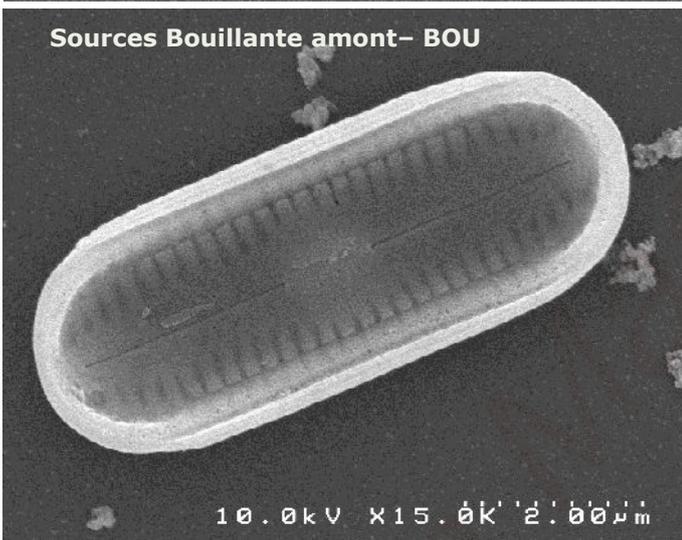
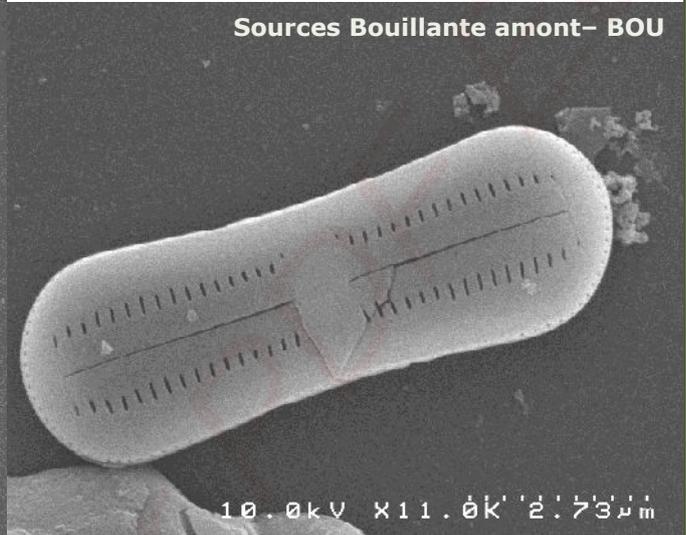
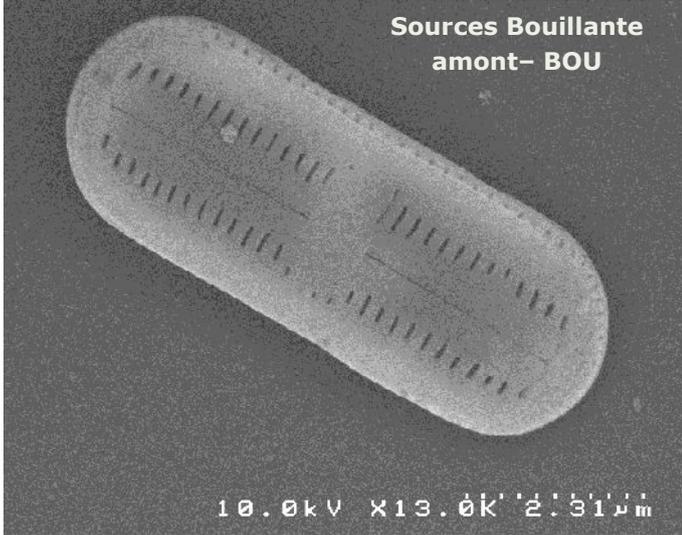


***Diadesmis contenta* (DCOT) = *Humidophila contenta* (HUCO)**



10µm

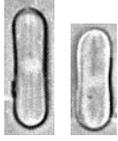
Sources Bouillante amont - BOU



DIADESMIS - HUMIDOPHILA

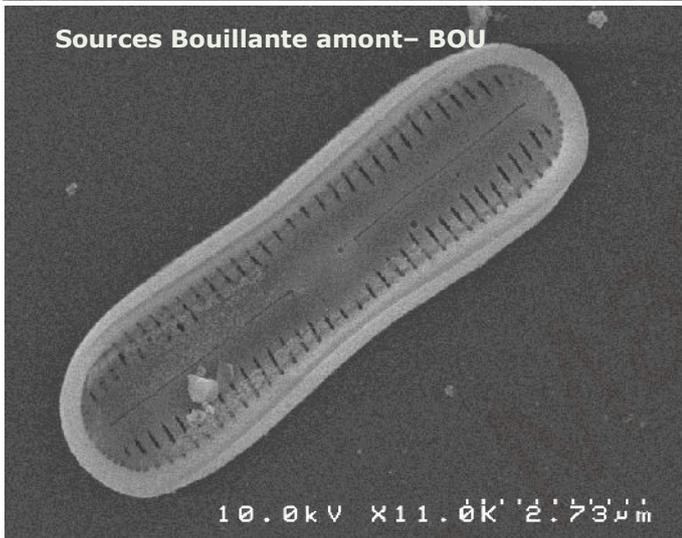
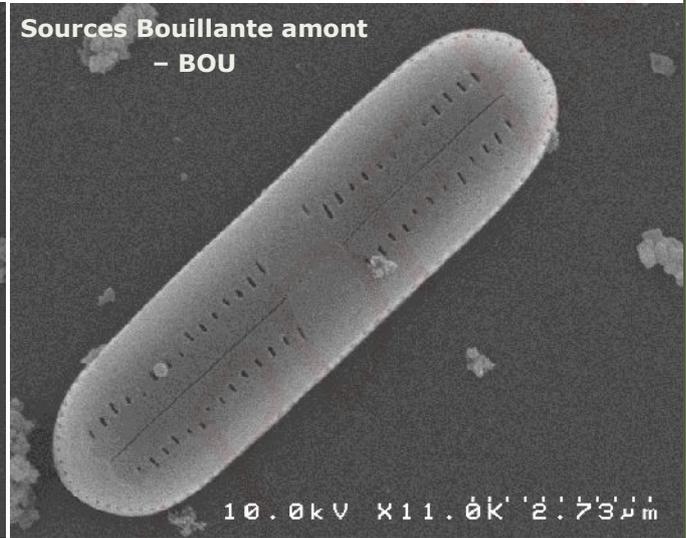
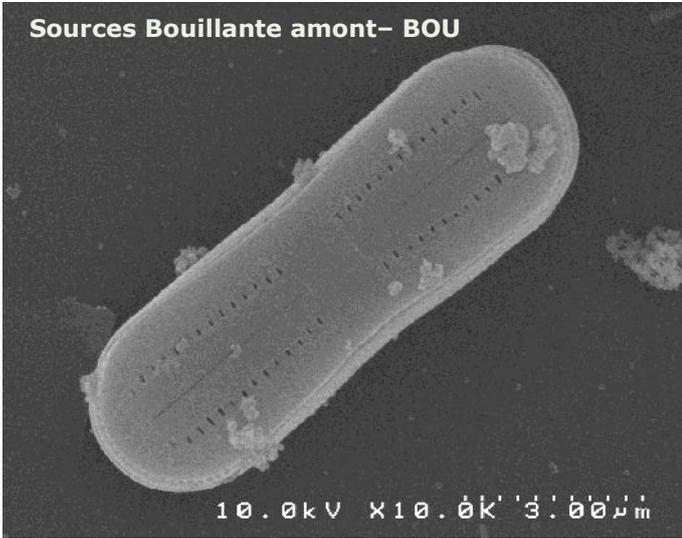
Created in

Diadesmis sp5 (DI05)



10µm

Sources Bouillante amont - BOU



DIADESMIS

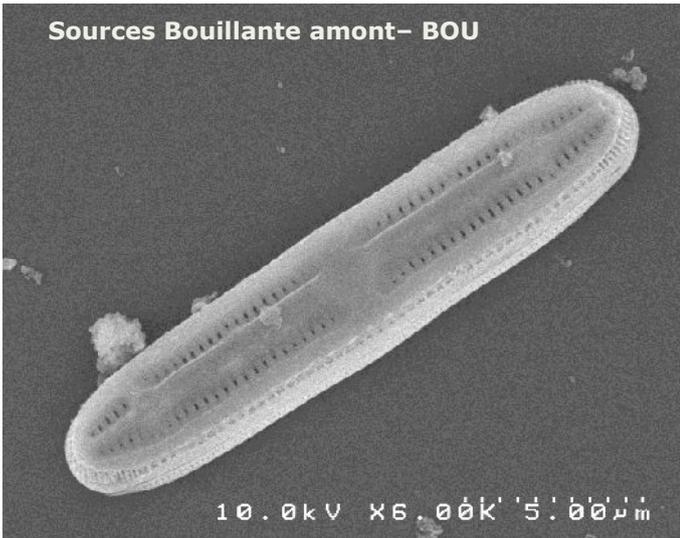
Created in

***Diadesmis cf. platensis* (DPLT) = *Humidophila cf. platensis* (HUPL)**

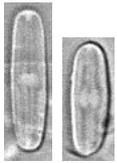


10µm

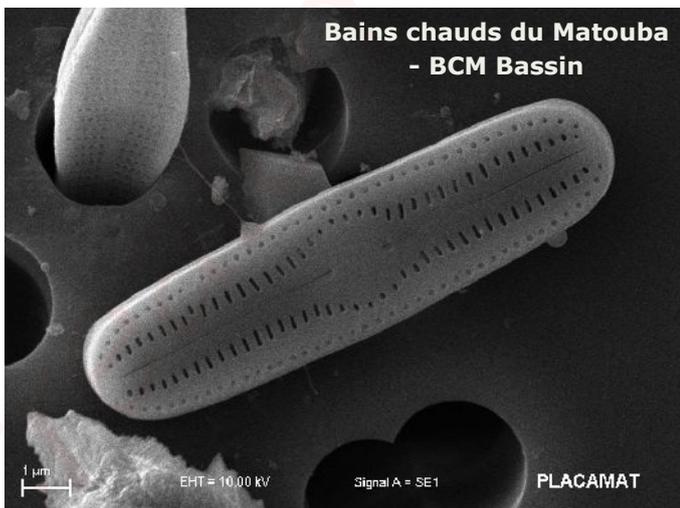
Sources Bouillante amont - BOU



***Humidophila brekkaensis* (HBRE)**



Bains chauds du Matouba
- BCM Bassin

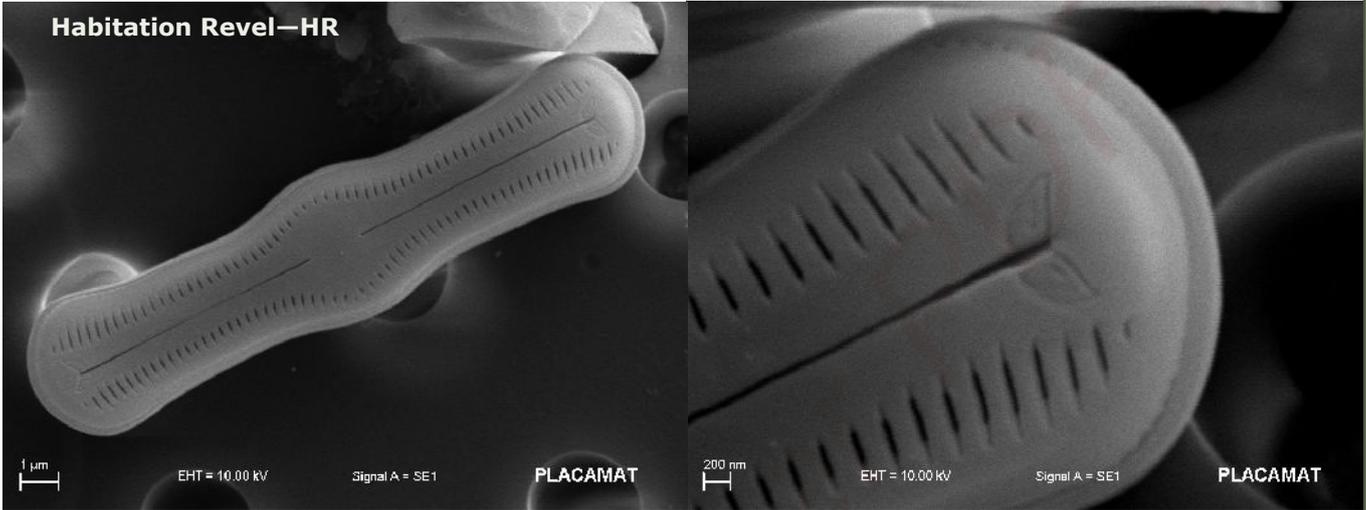


***Diadesmis arcuata* (DIAR) = *Humidophila arcuata* (HUAC)**



10µm

Habitation Level - HR



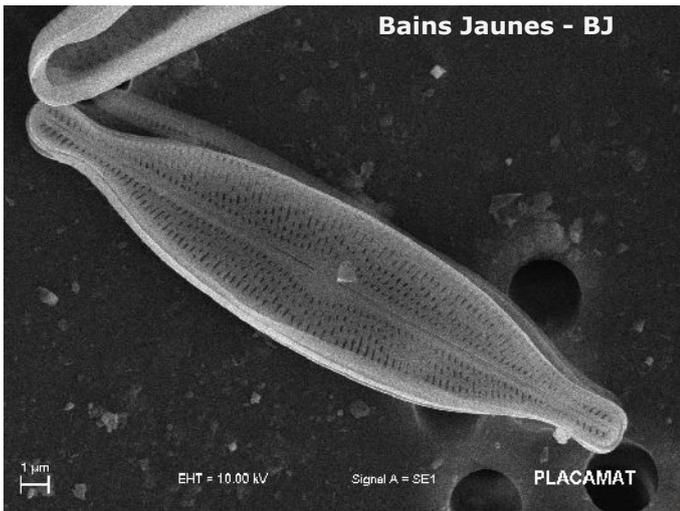
Created in Mast

***Brachysira cf. garrensis* (BGAR) sensu BD29 p196**

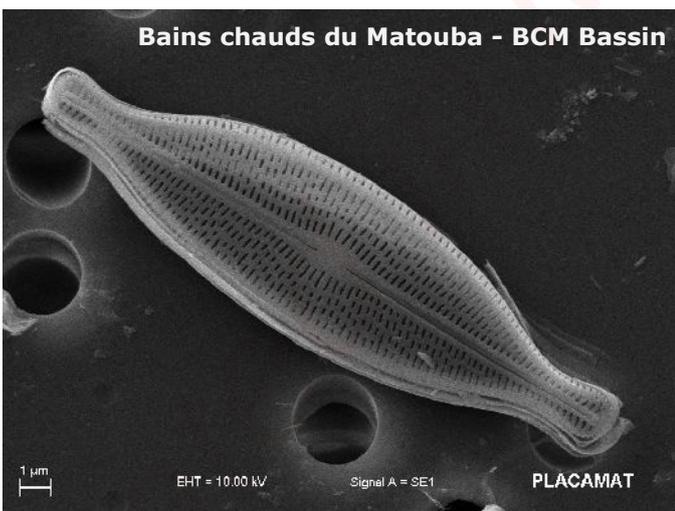


10µm

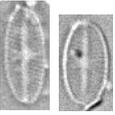
Bains Jaunes - BJ



***Brachysira neoexilis* forme 2 (BNE2)**



Eolimna minima (EOMI)

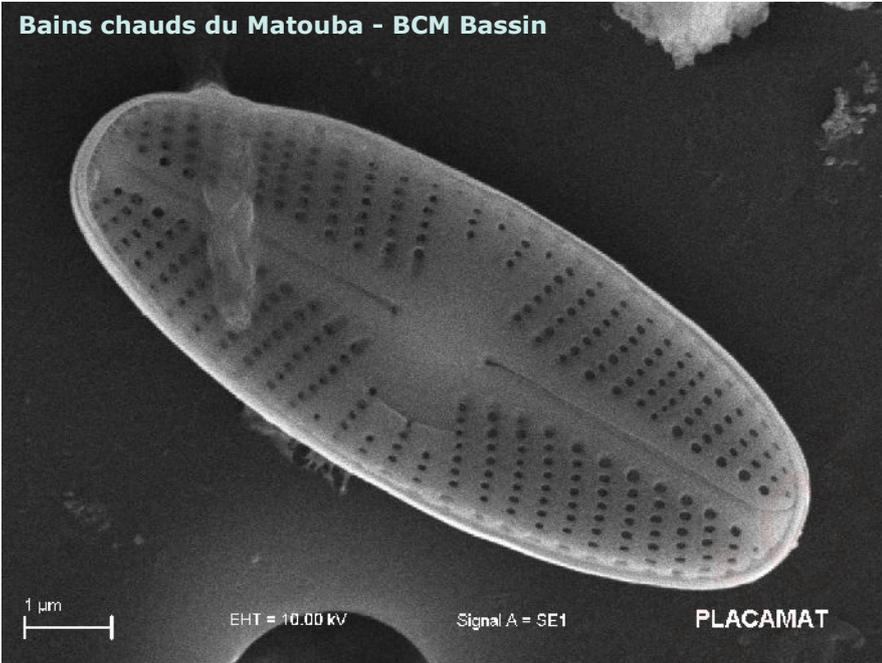


Bains chauds du Matouba
- BCM Bassin

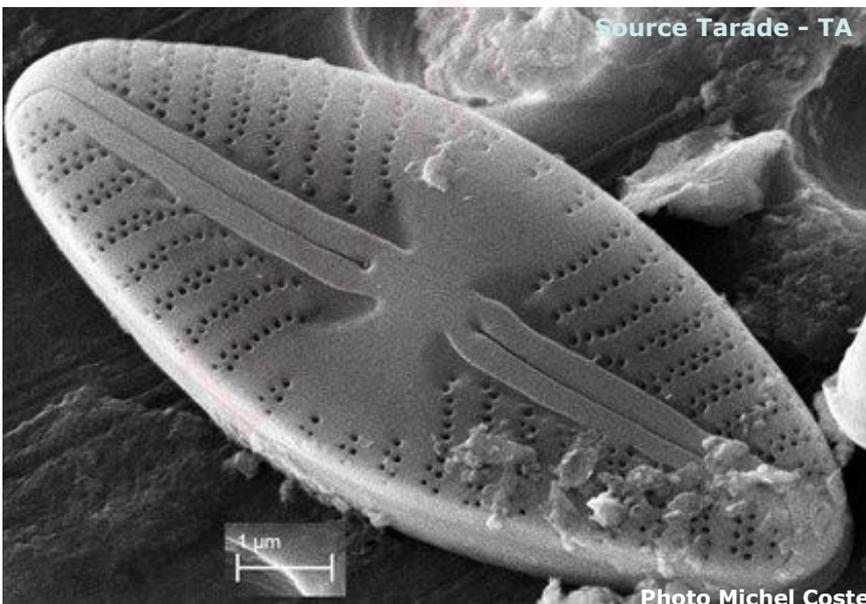
10µm

EOLIMNA

Bains chauds du Matouba - BCM Bassin

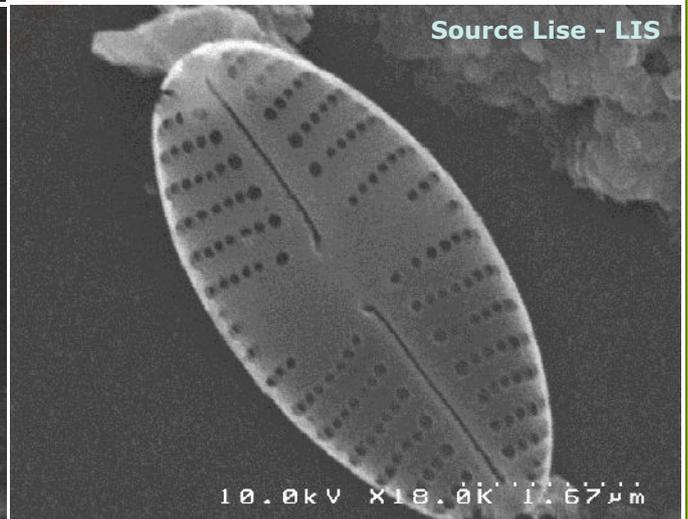
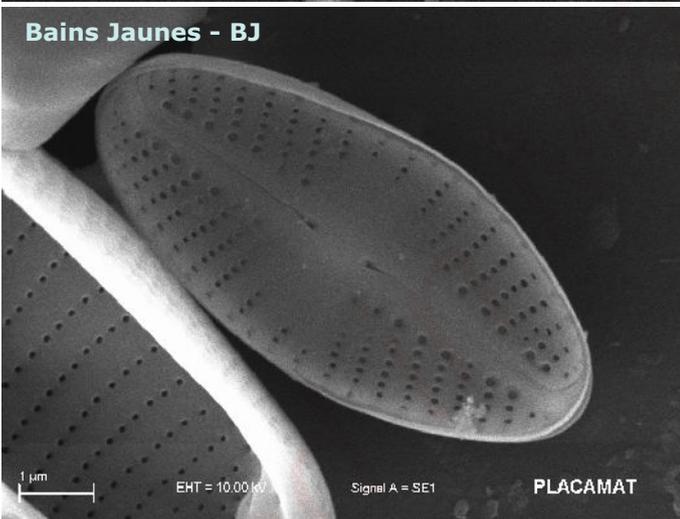
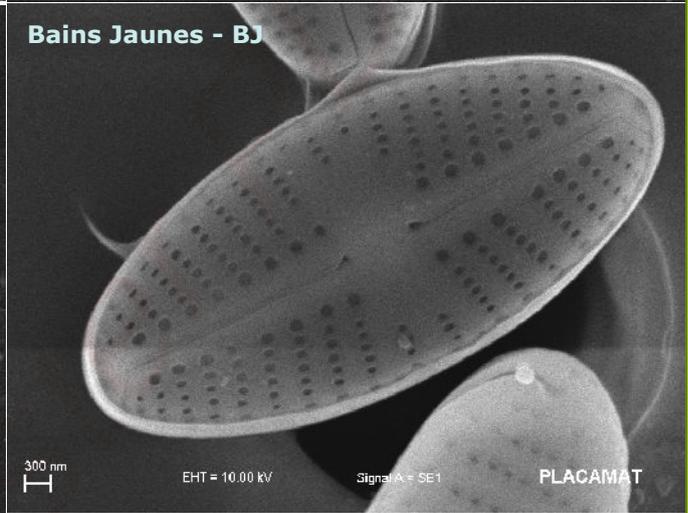
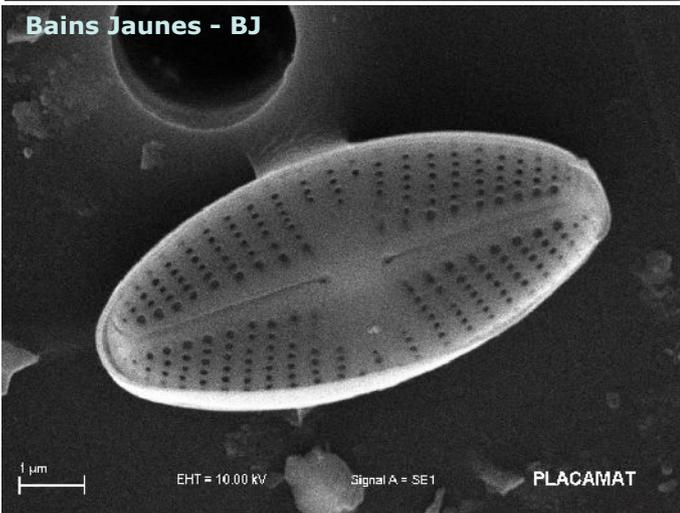
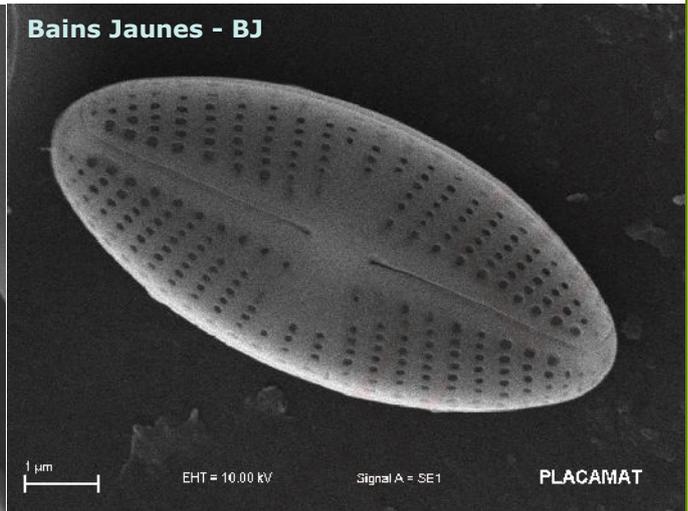
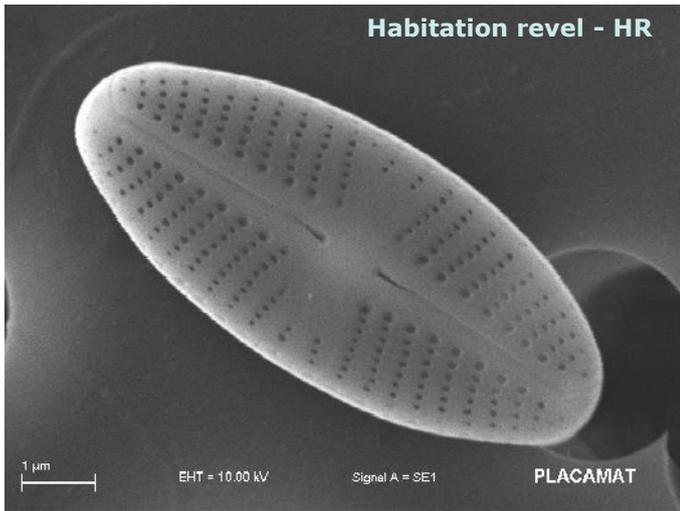


Eolimna lepidula (ELEP)



Eolimna sp1 (E001) cf. E. krummensis (EOKR)

EOLIMNA



Create

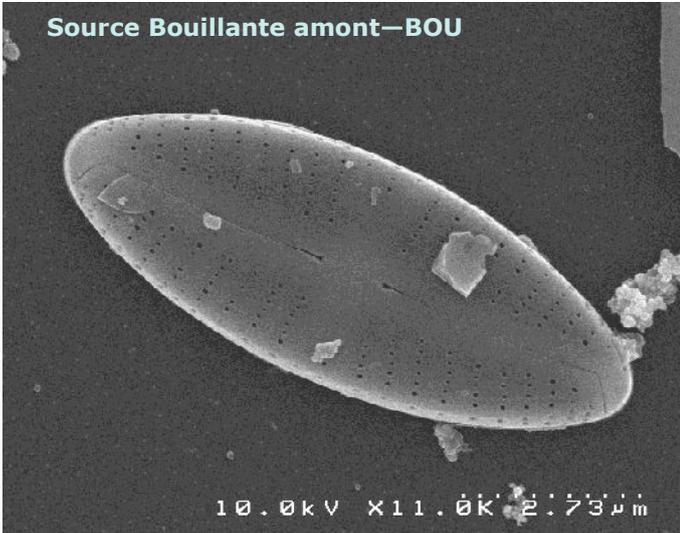
***Eolimna* sp2 (E002) cf. *E. crassulexigua* (ECRX)**



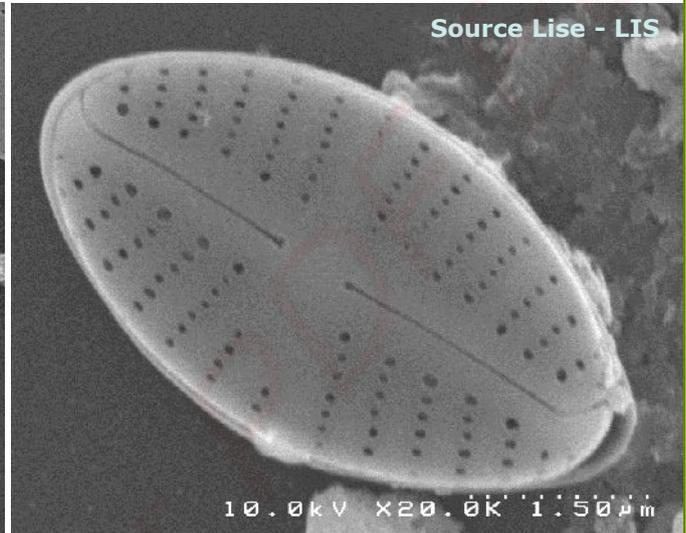
10µm

Source Lise - LIS

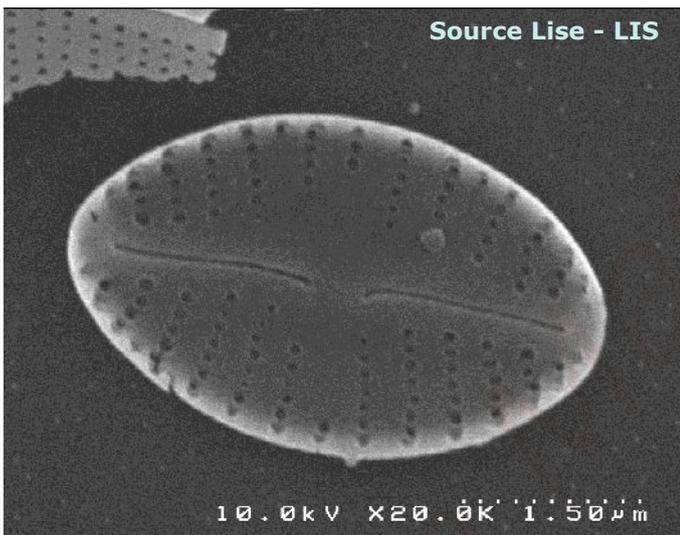
Source Bouillante amont—BOU



Source Lise - LIS



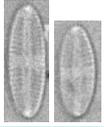
Source Lise - LIS



EOLIMNA

Created in

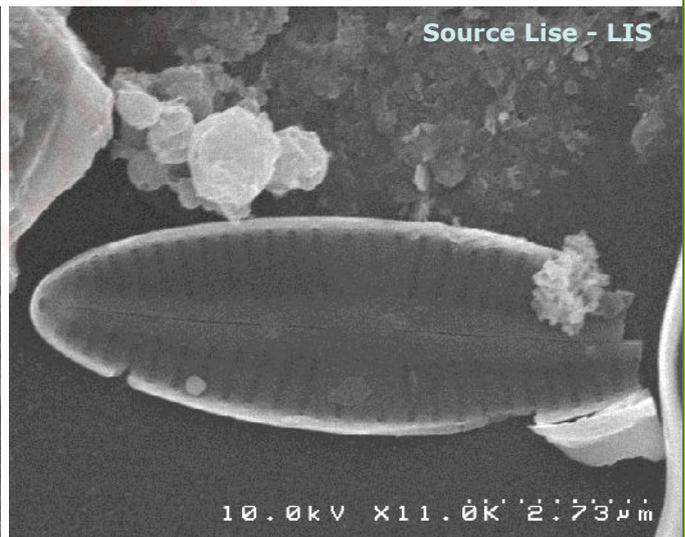
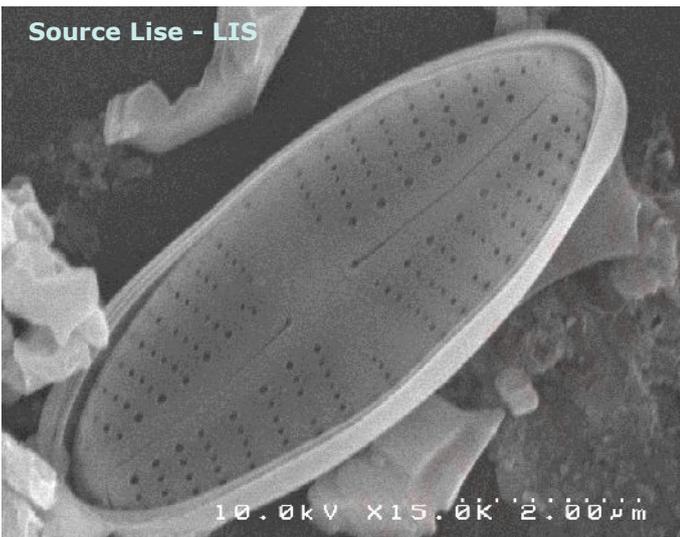
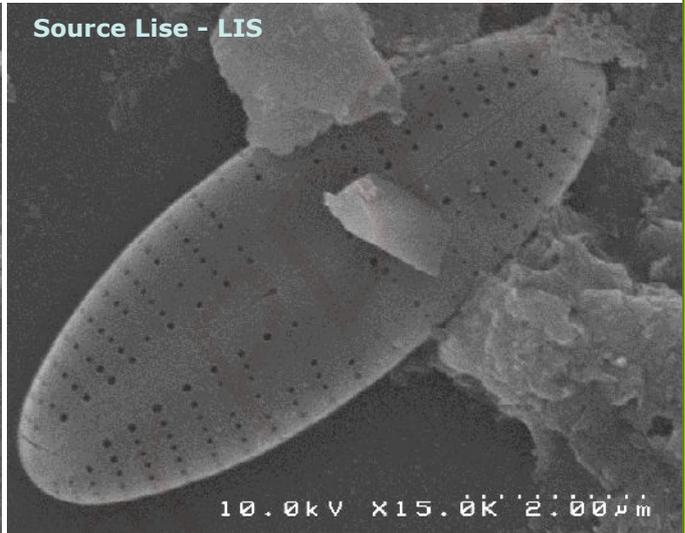
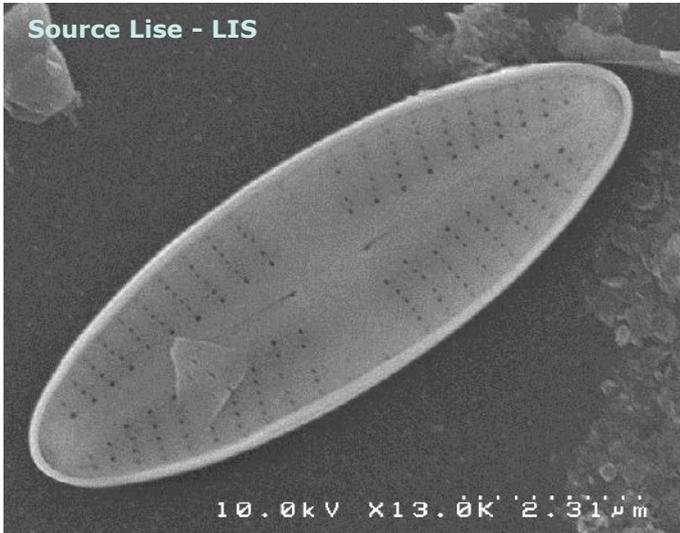
Eolimna sp12 (E012)



Source Lise - LIS

10µm

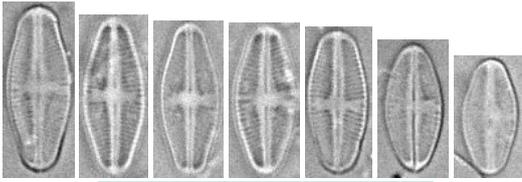
EOLIMNA



Created in

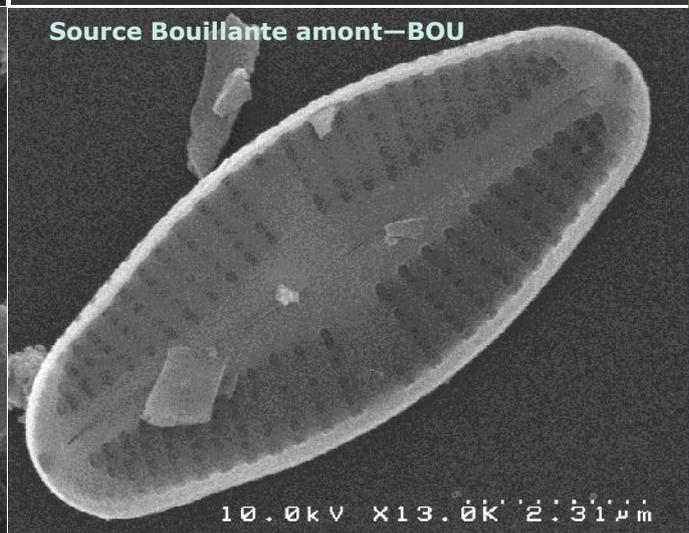
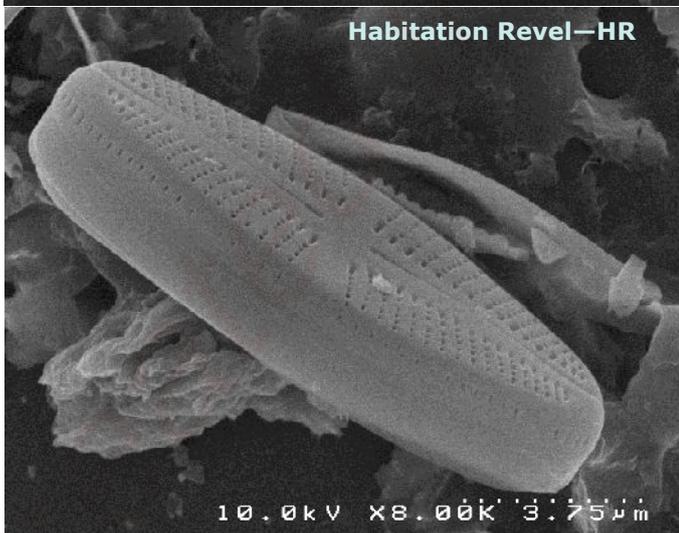
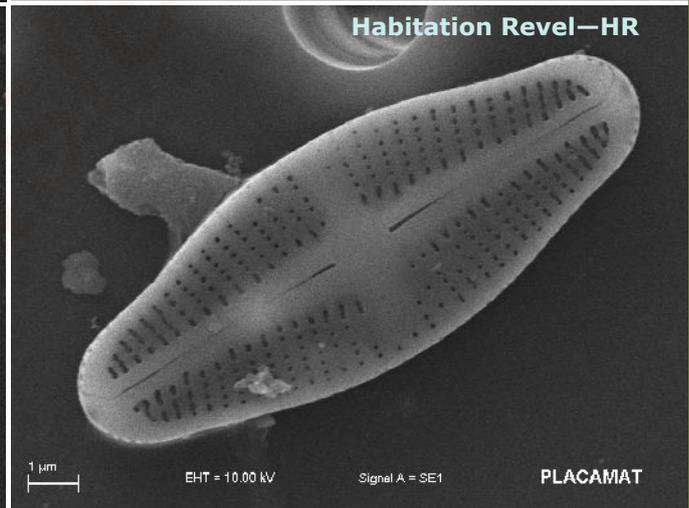
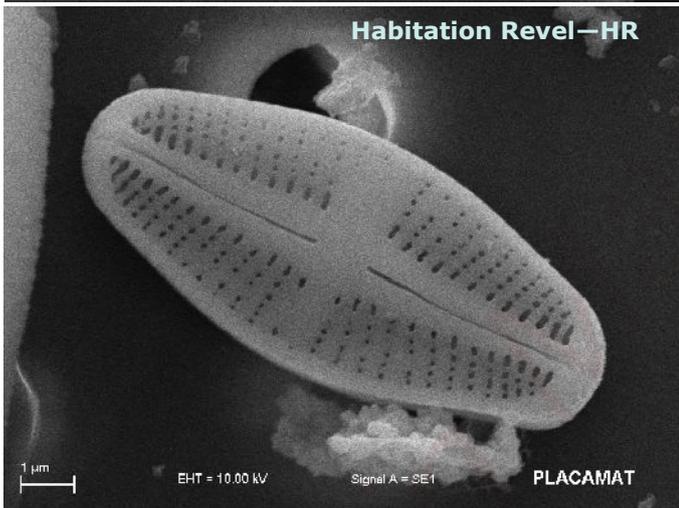
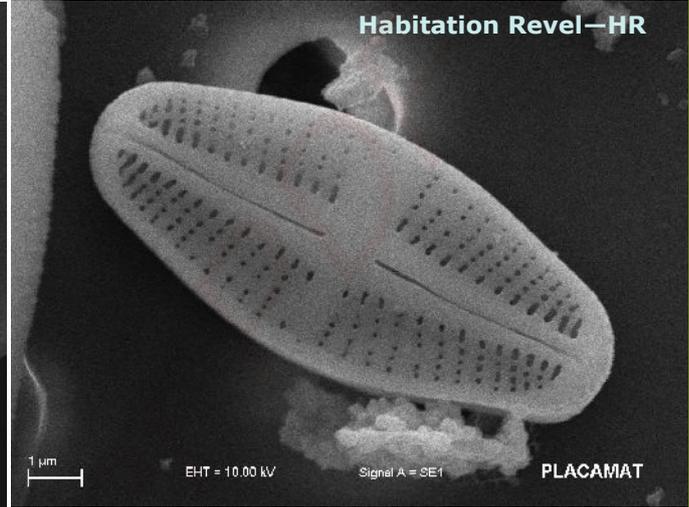
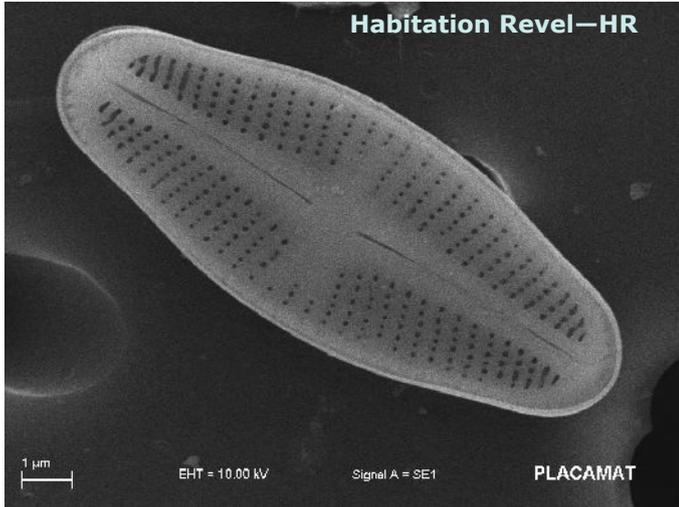
***Eolimna ruttneri* (ERTT)**

EOLIMNA



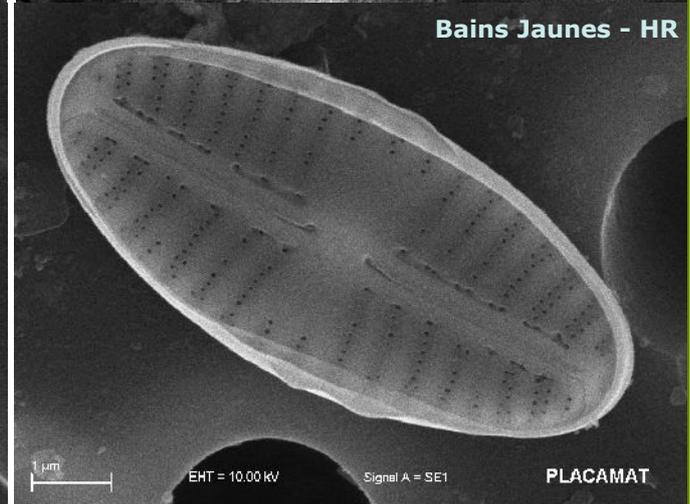
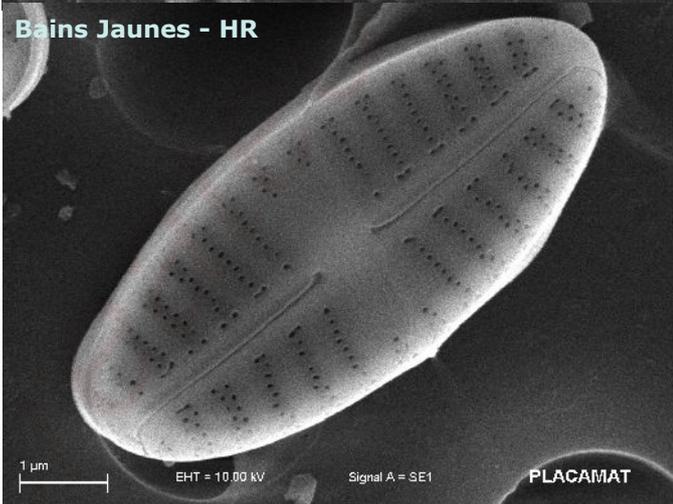
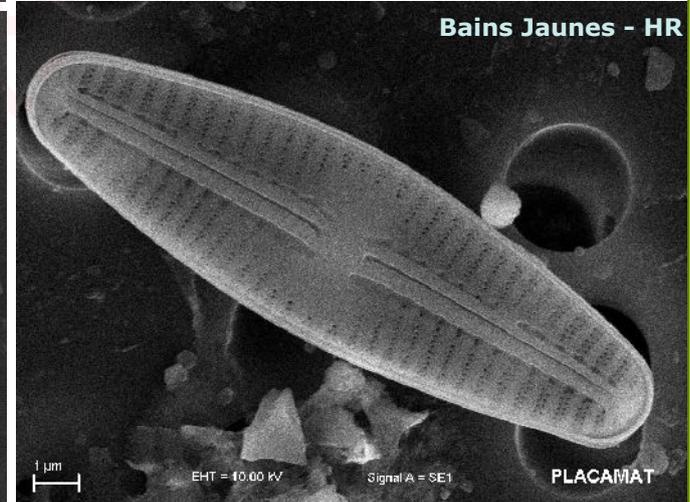
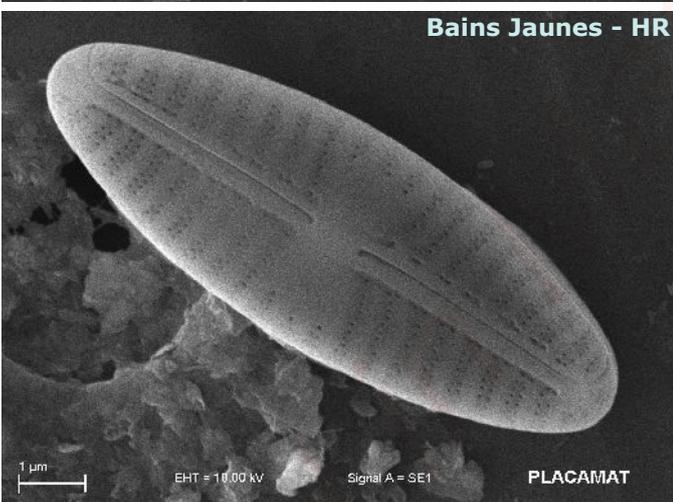
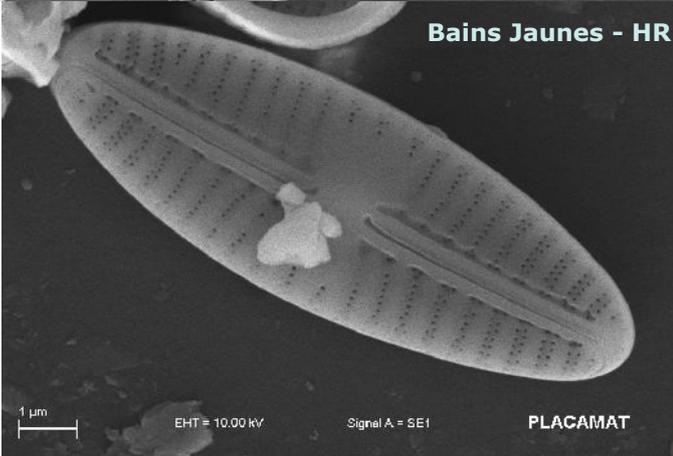
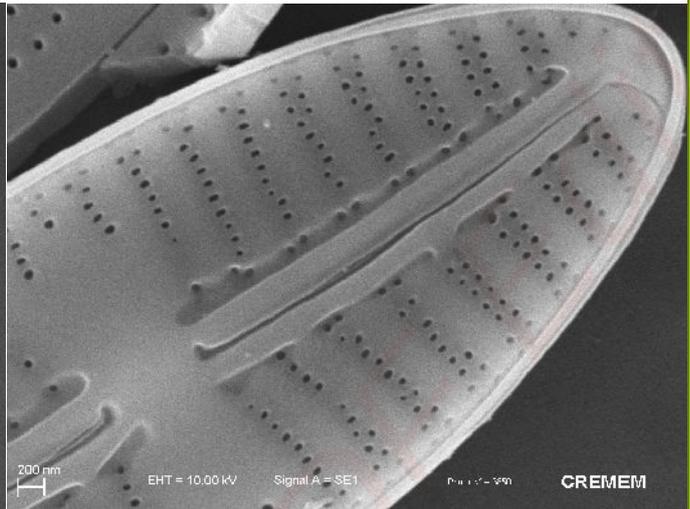
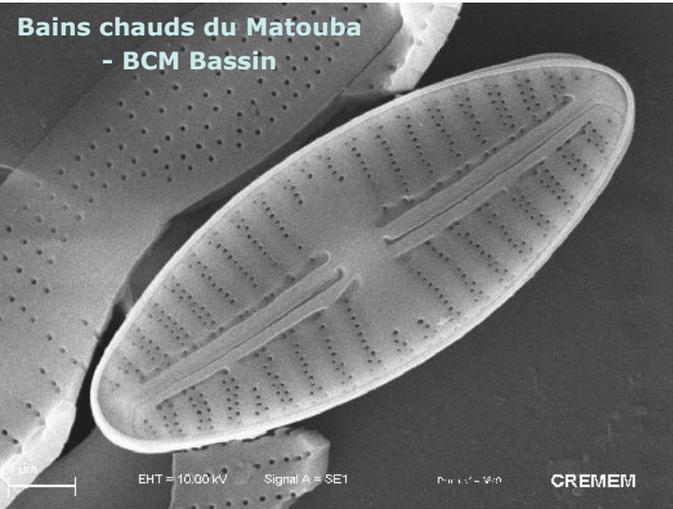
10µm

Habitation Level—HR

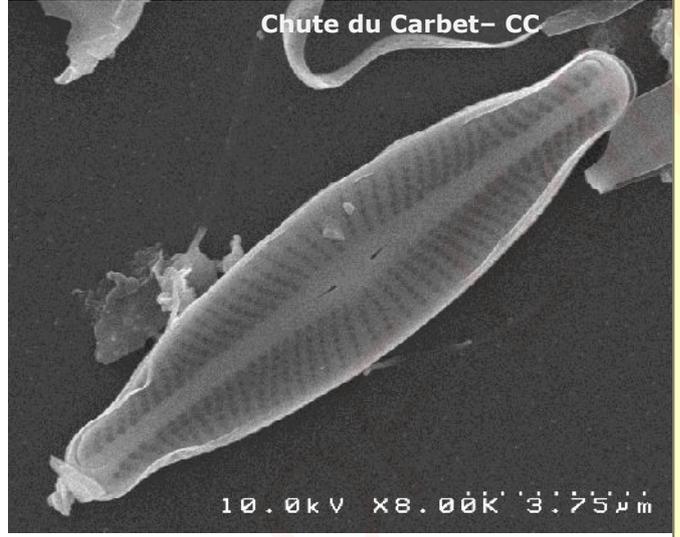
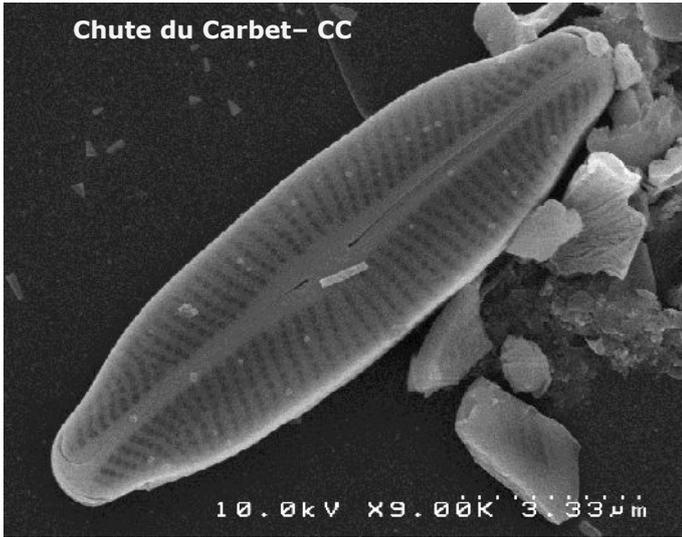


Sellaphora seminulum (SSEM)

SELLAPHORA



***Adlafia muscora* (AMUS)**

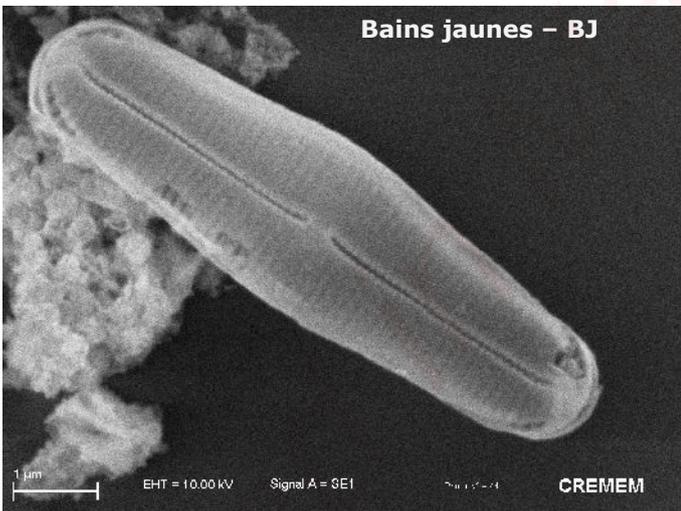
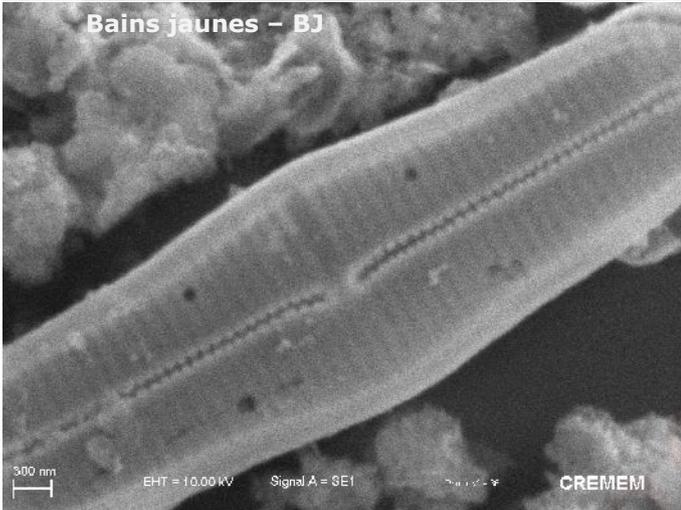
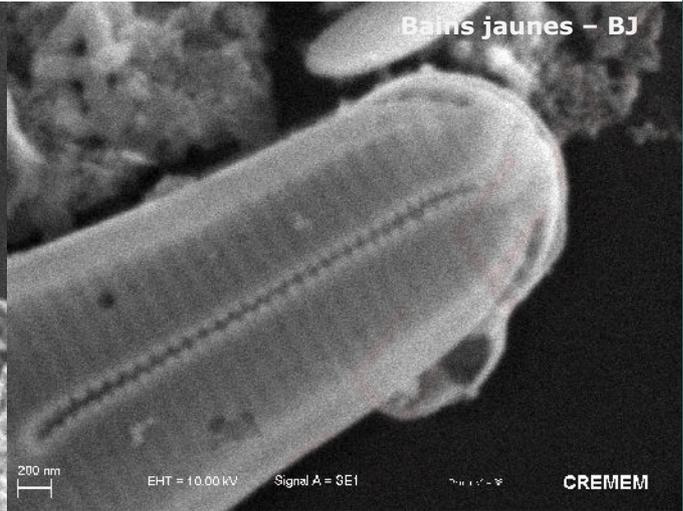
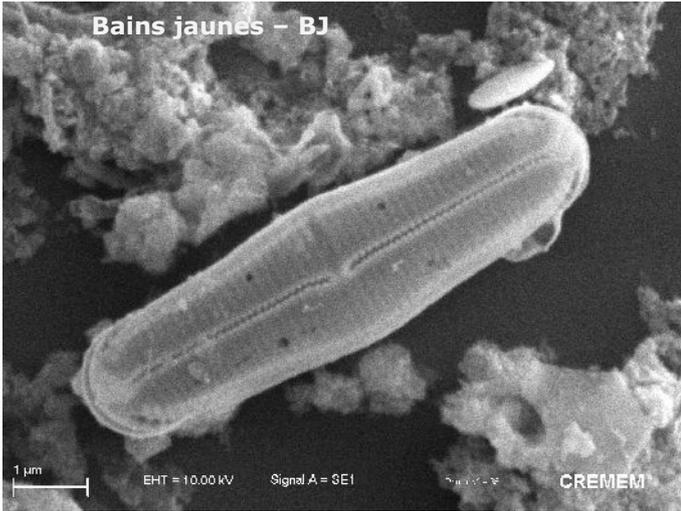


ADLAFIA

Created in Master PL

***Fallacia latelongitudinalis* (FLLG)**

FALLACIA

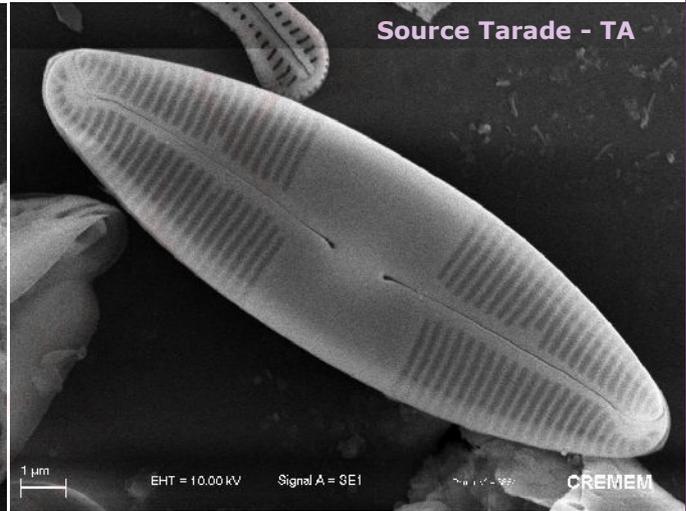
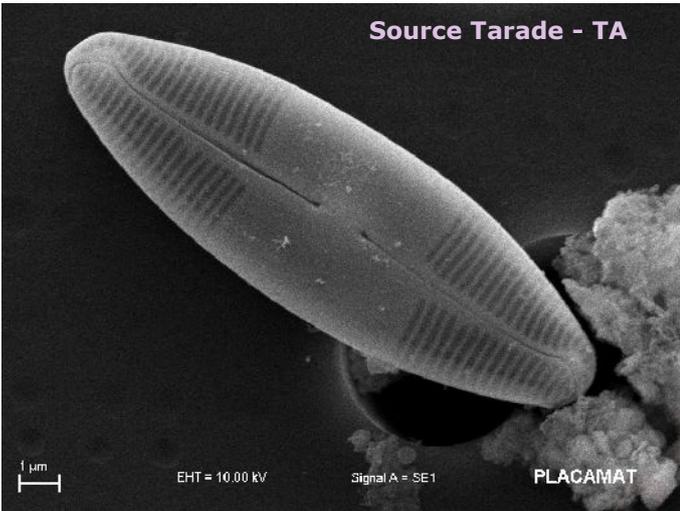
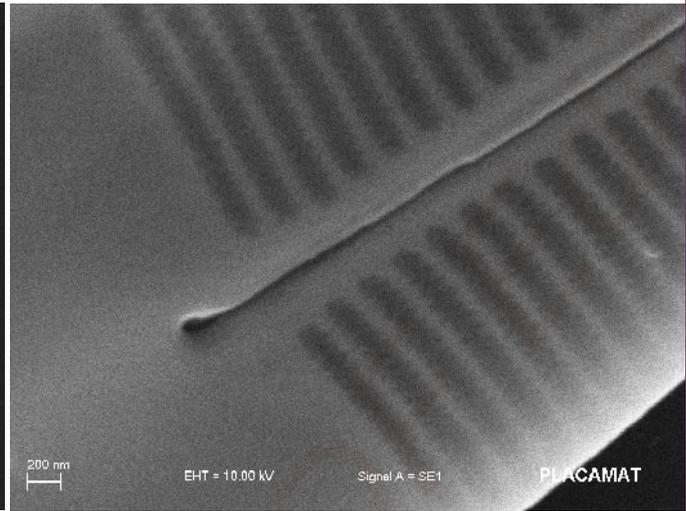
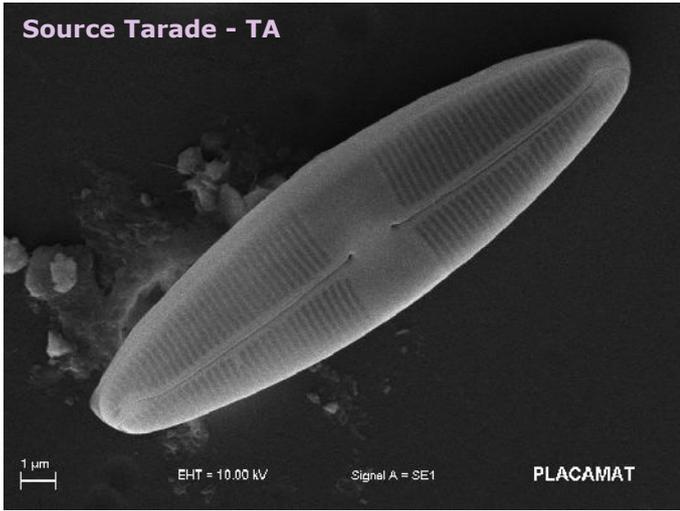


Create

Poster PL

***Caloneis hyalina* (CHYA)**

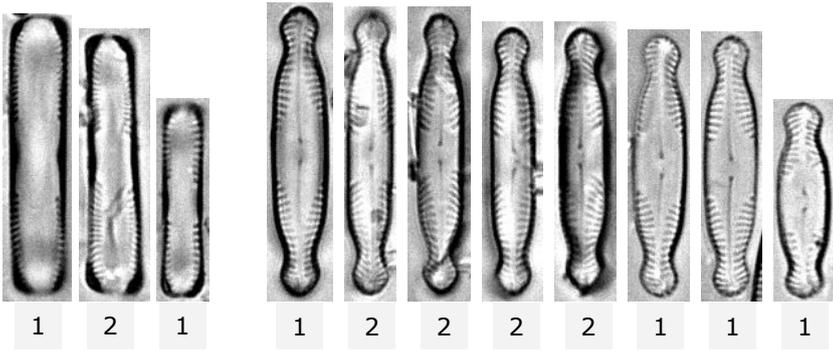
CALONEIS



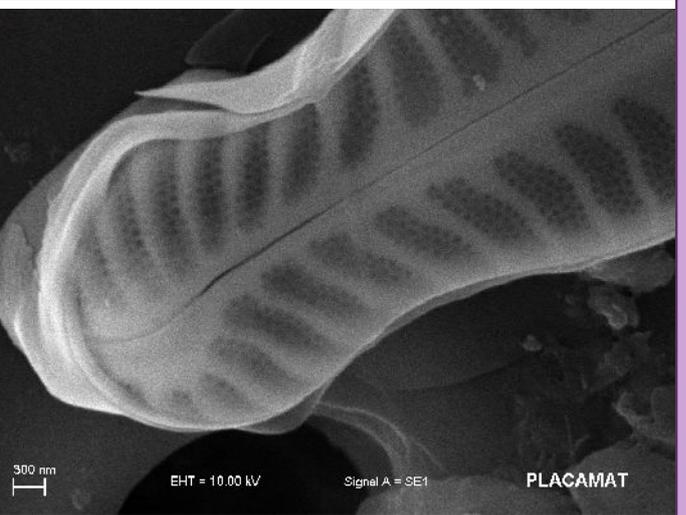
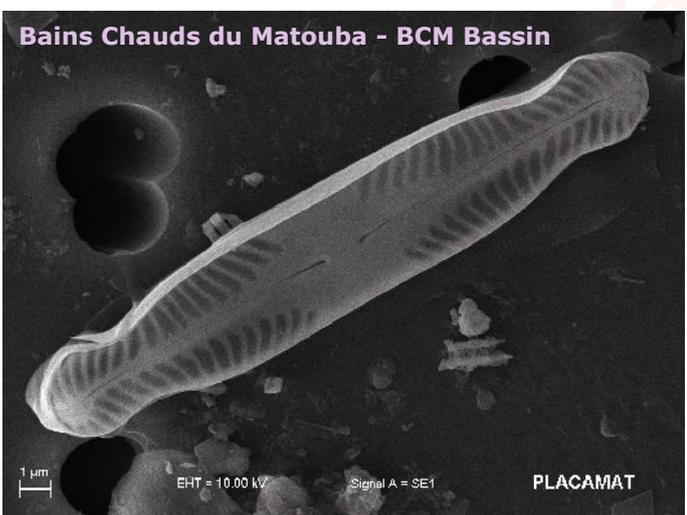
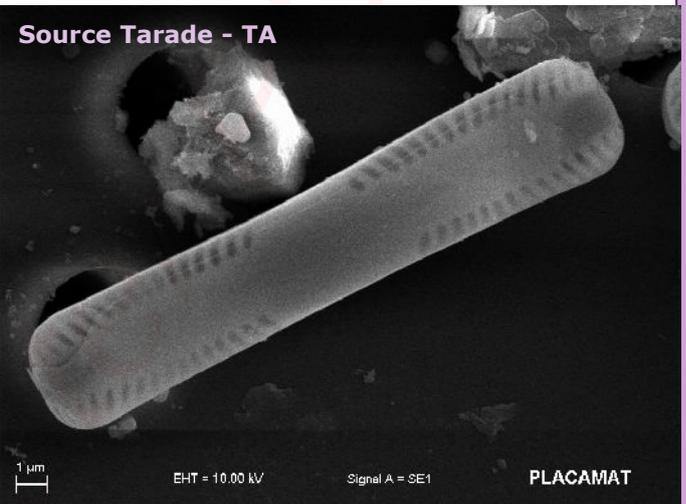
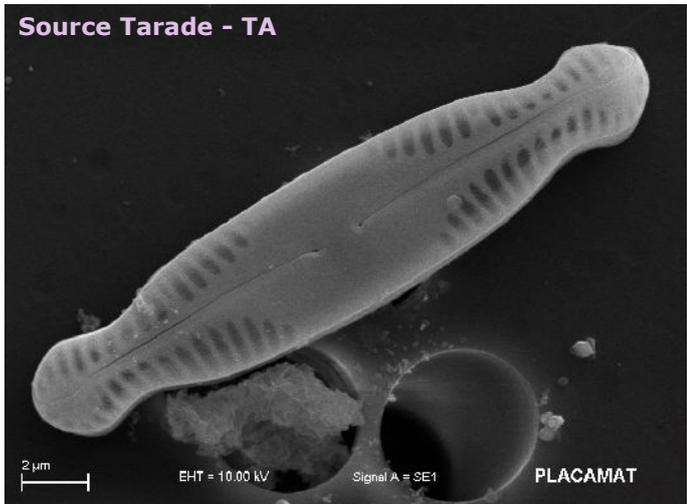
Created in Mid

Pinnularia joculata (PJOC)

PINNULARIA



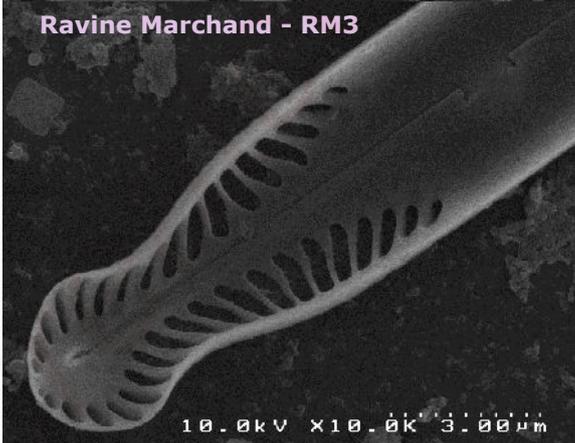
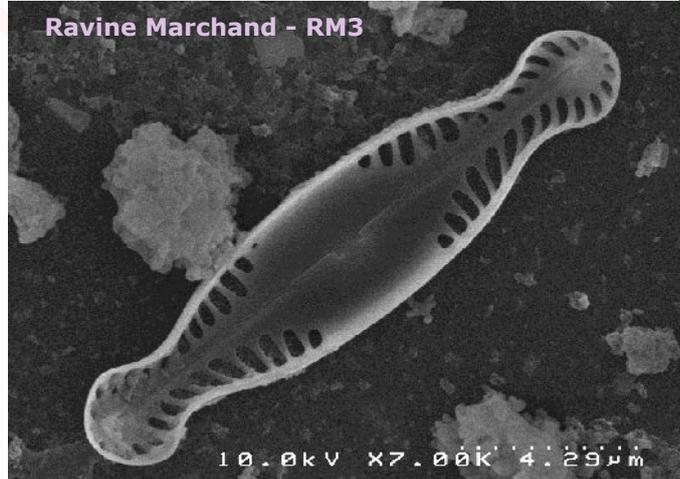
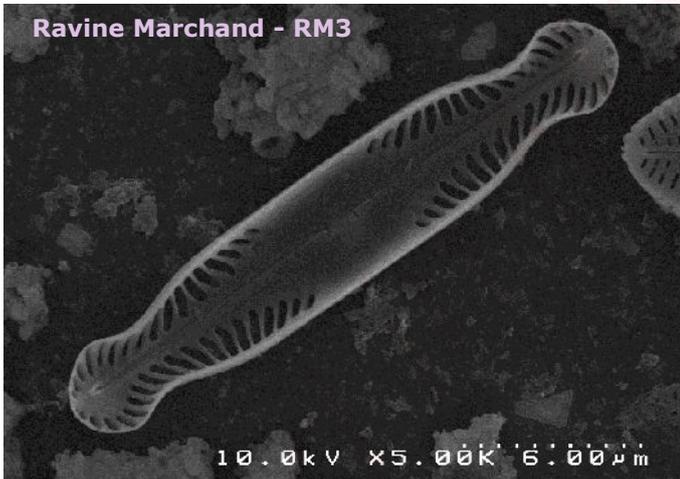
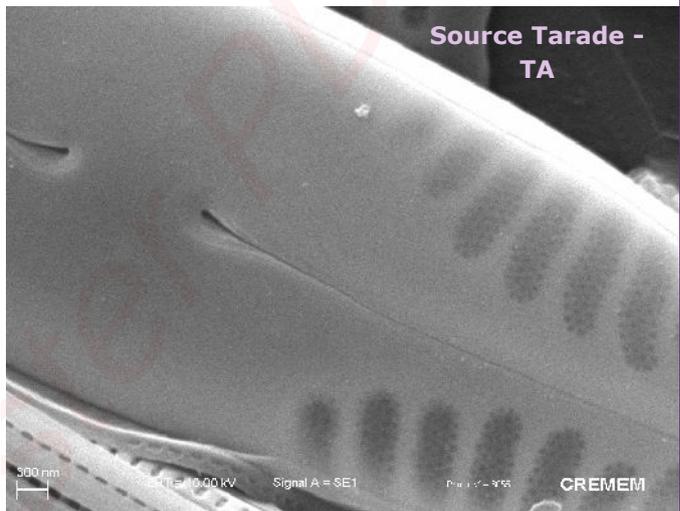
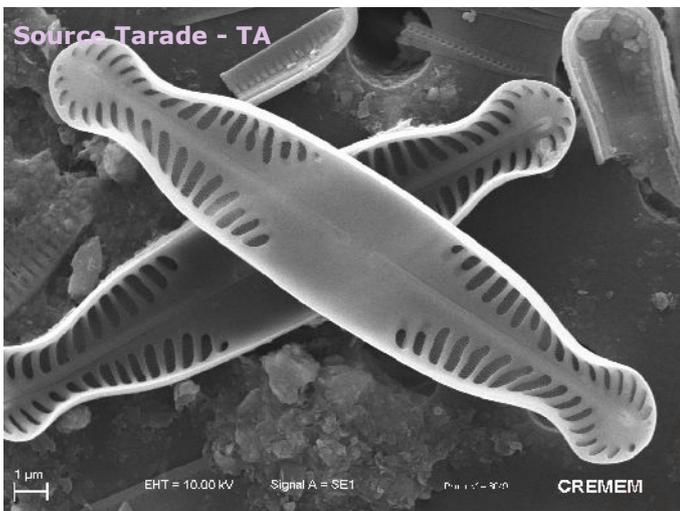
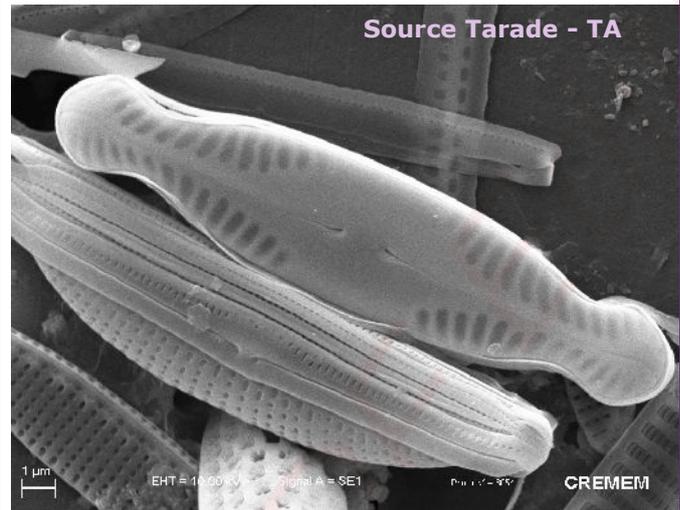
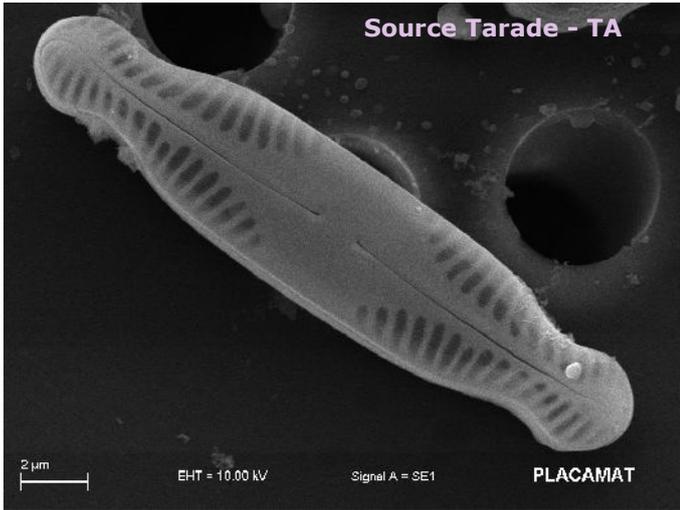
1 Source Tarade - TA
2 Bains Chauds du Matouba - BCM Bassin



Create

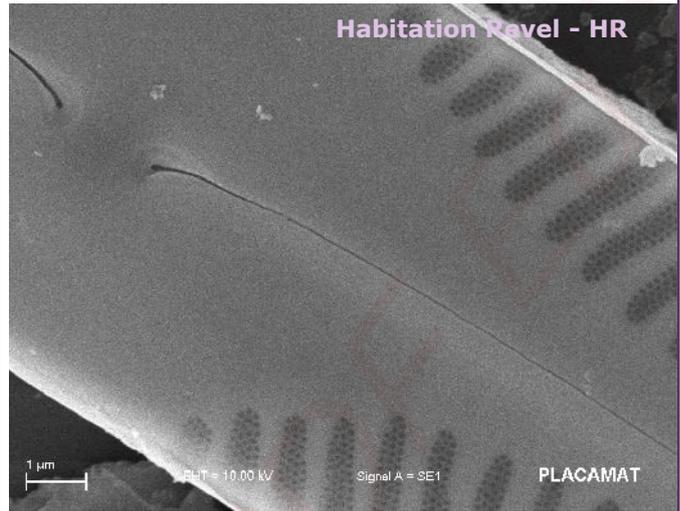
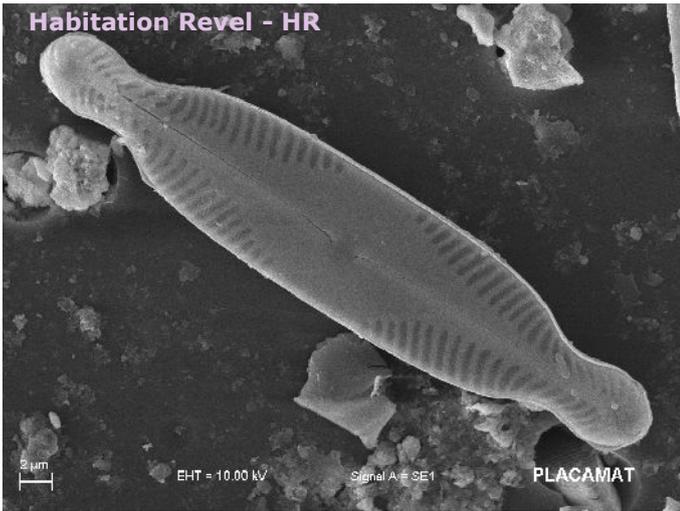
***Pinnularia joculata* (PJOC)**

PINNULARIA



***Pinnularia subanglica* (PSAG)**

PINNULARIA



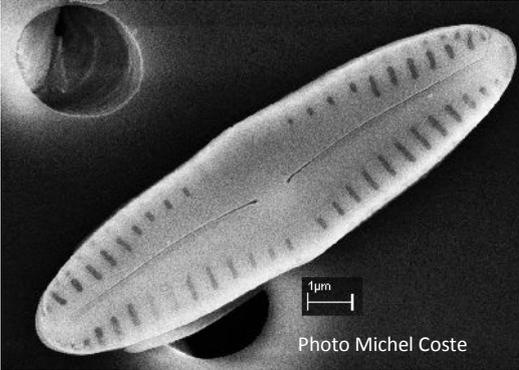
Created in Master PL

***Chamaepinnularia mediocris* (CHME)**

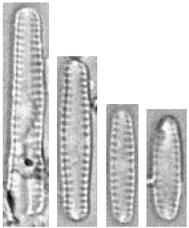


Chute du Carbet - CC

10µm

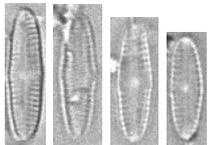


***Chamaepinnularia sp1* (CH01)**



Chute du Carbet - CC

***Chamaepinnularia sp2* (CH02)**



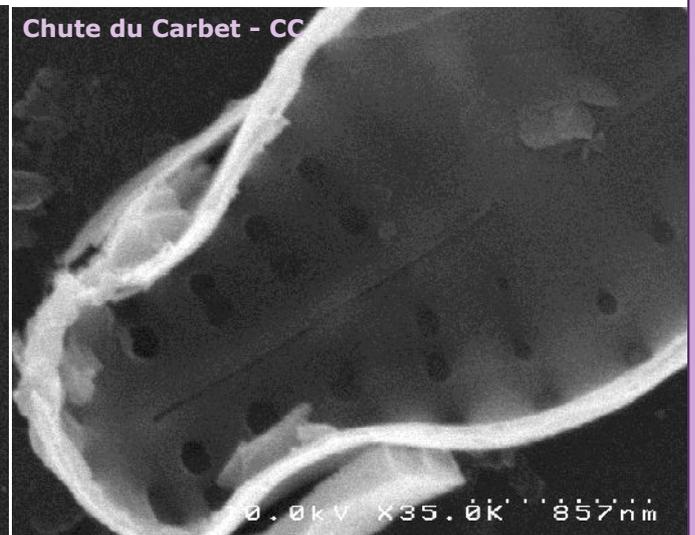
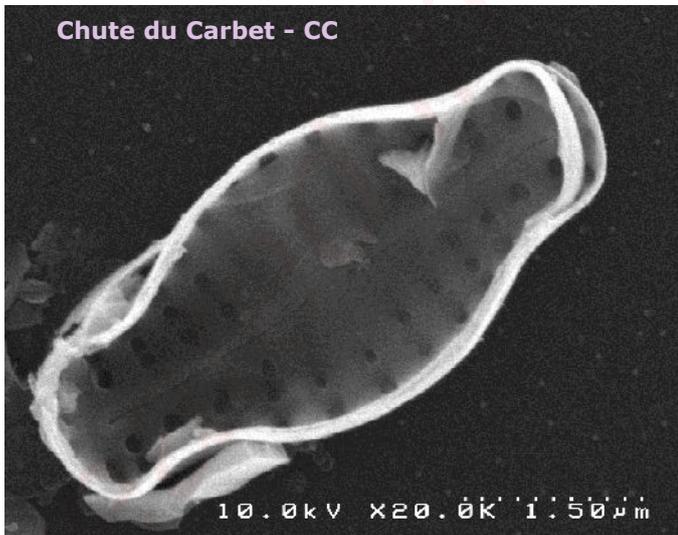
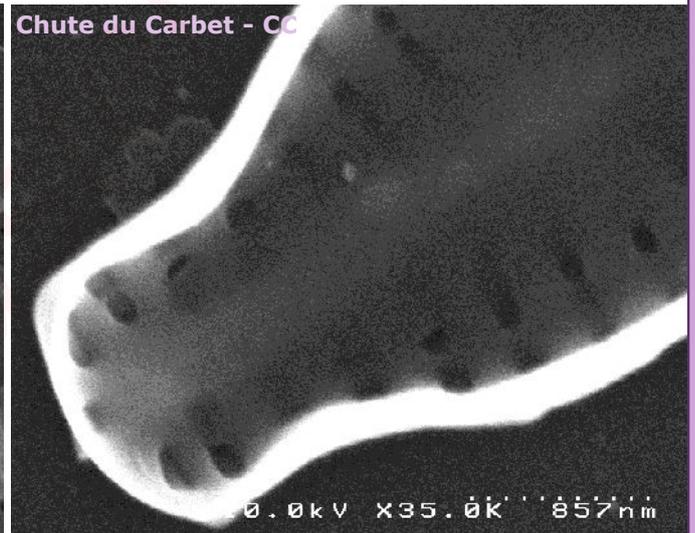
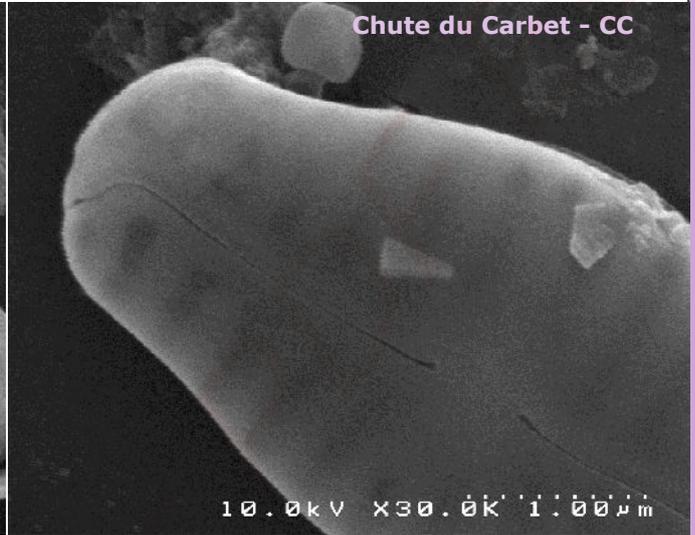
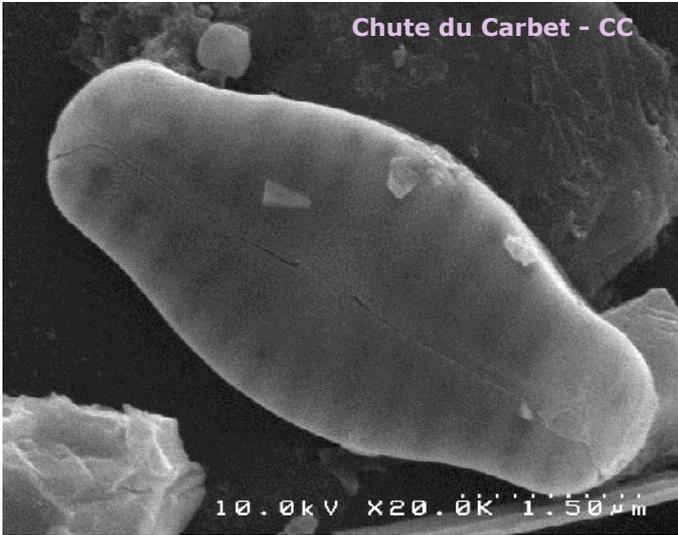
Bains Chauds du Matouba
- BCMBassin

Chamaepinnularia thermophila = *Navicula thermophila* (NTPH)



10µm

Chute du Carbet - CC

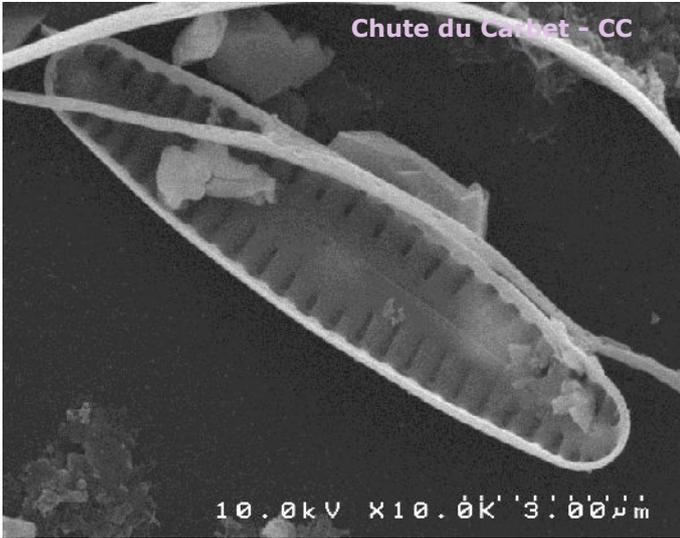


Chamaepinnularia elongata (CEGA)

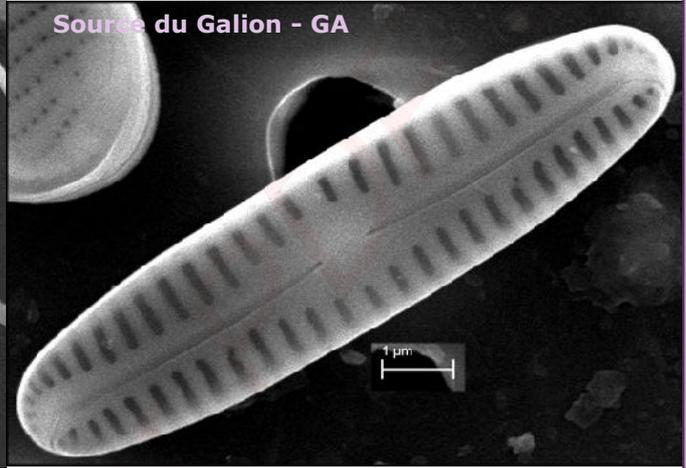


Chute du Carbet - CC

10µm



Chute du Carbet - CC

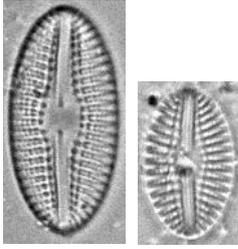


Source du Galion - GA

CHAMAEPINNULARIA

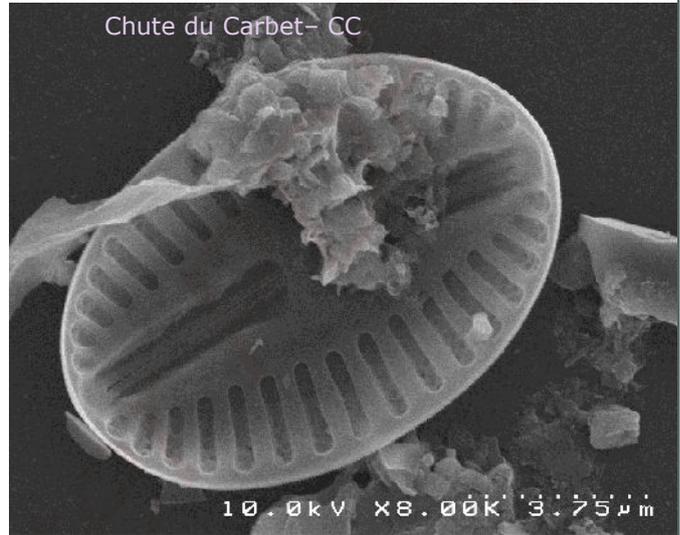
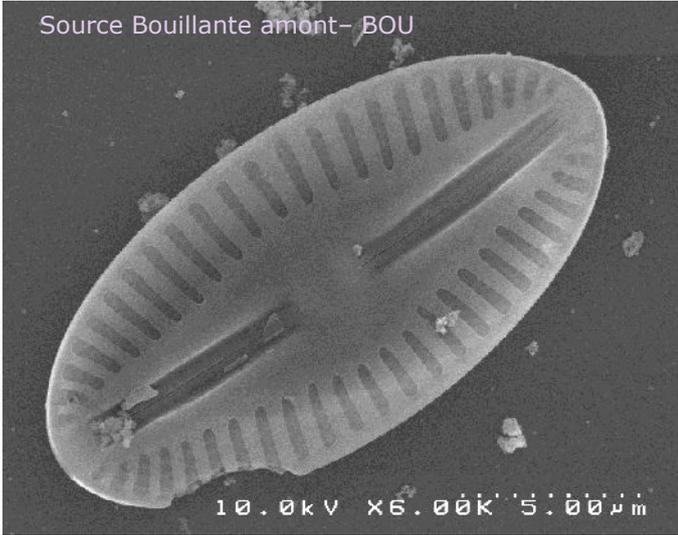
Created in Master

***Diploneis* sp5 (DP05)**



10µm

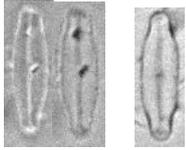
Source Bouillante amont - BOU



DIPLONEIS

Created in Masthead

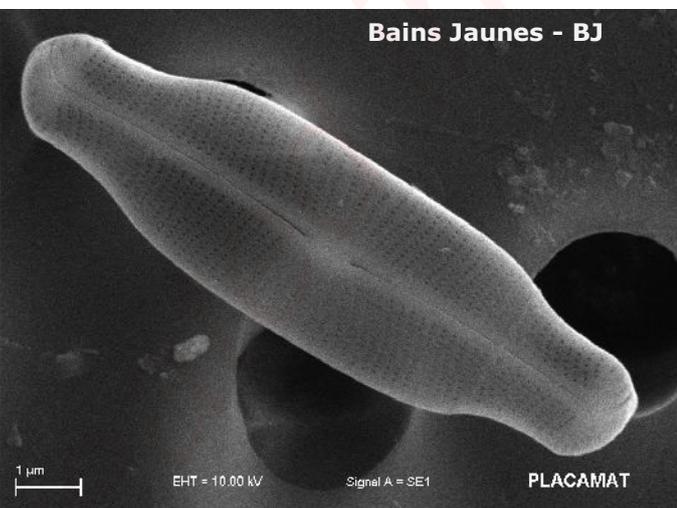
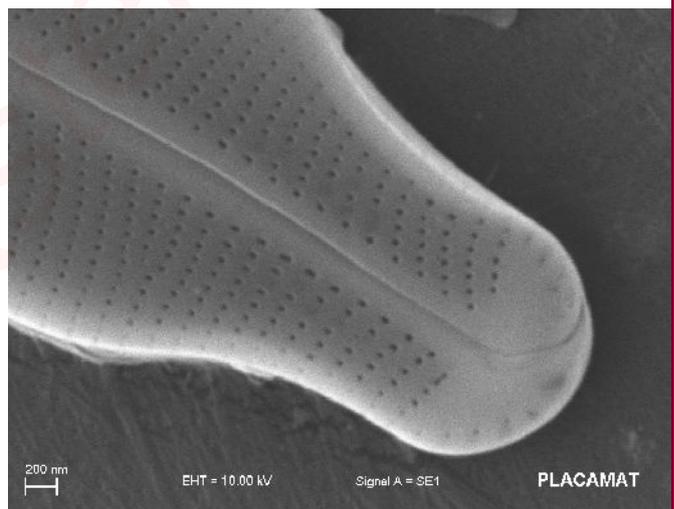
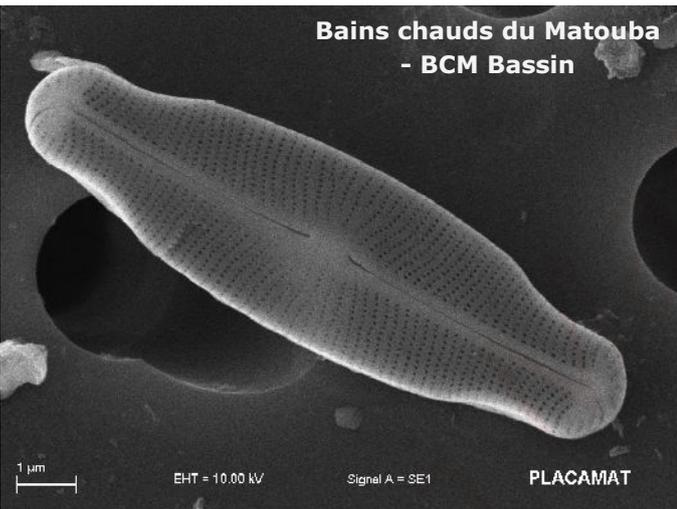
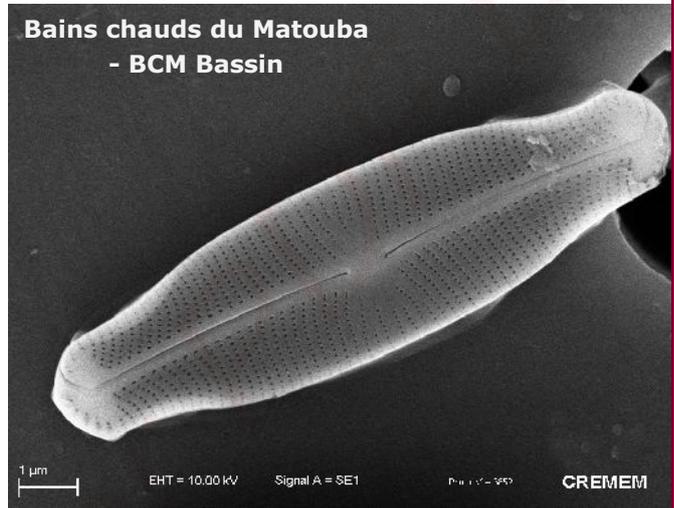
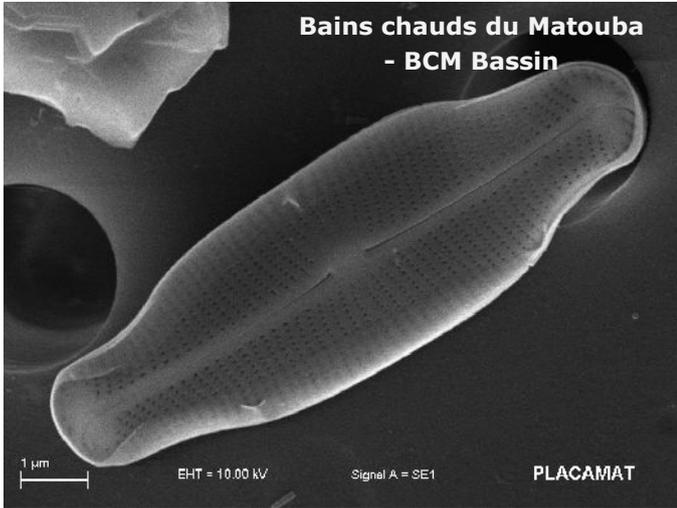
Navicula arvensoïdes (NARD)



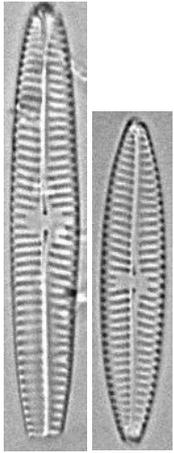
Bains chauds du Matouba
- BCM Bassin

10µm

NAVICULA

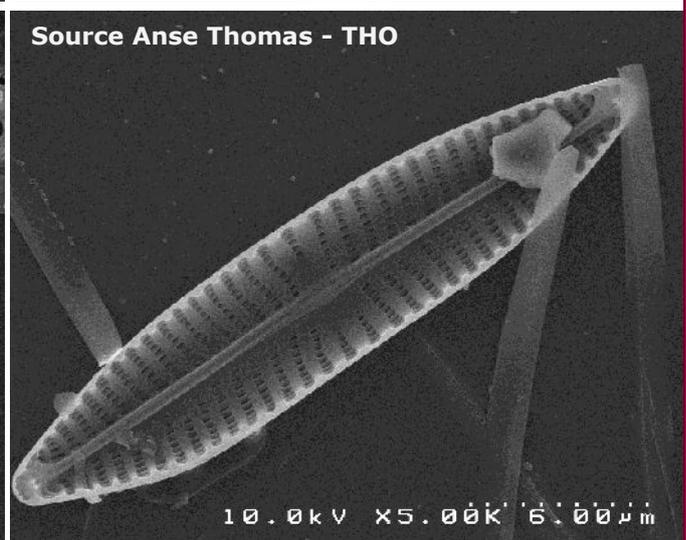
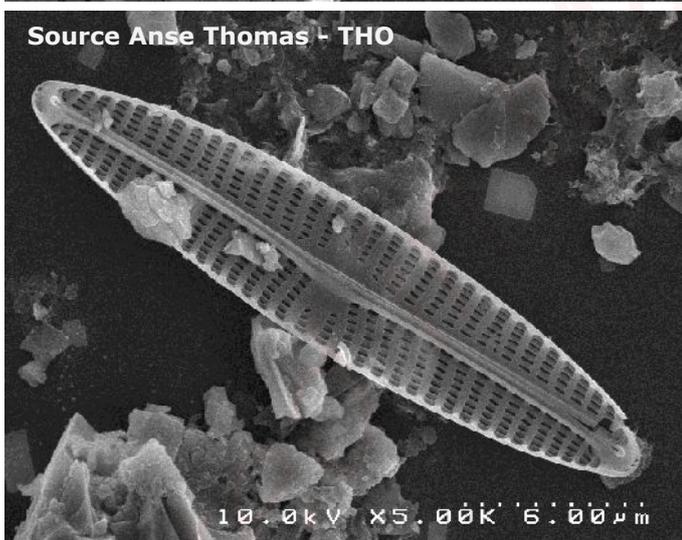
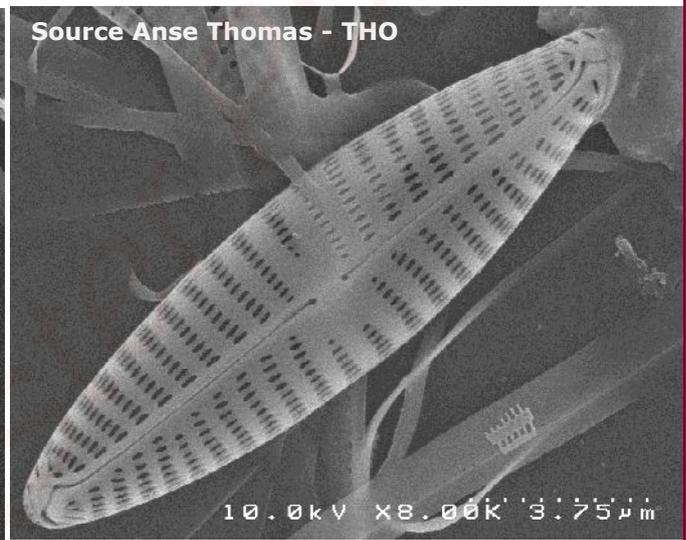
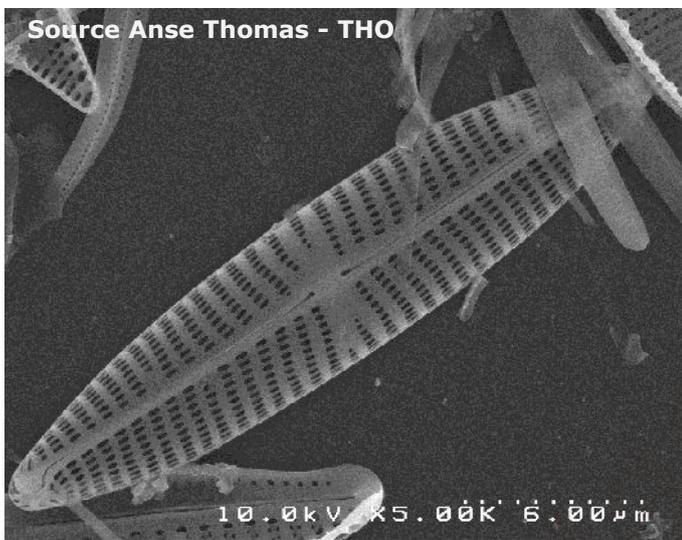


Navicula erifuga forme 3 (NER3)



10µm

Source Anse Thomas - THO

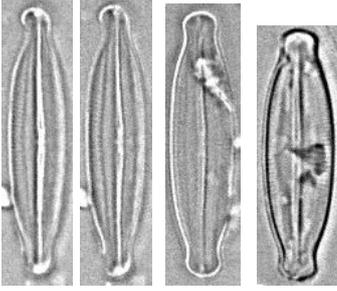


NAVICULA

Creation

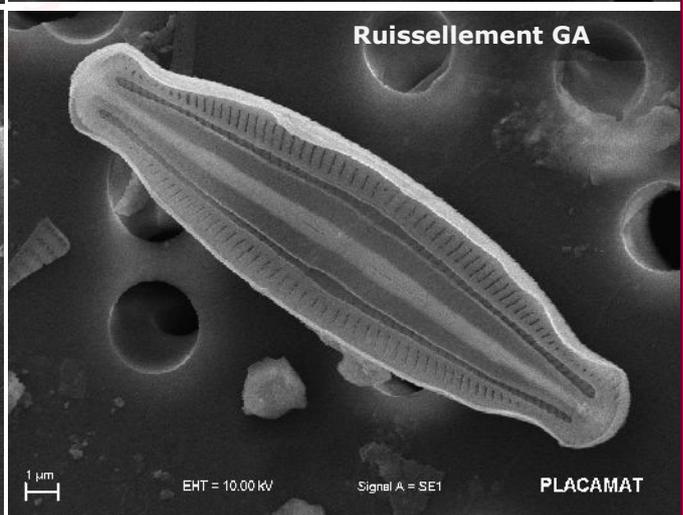
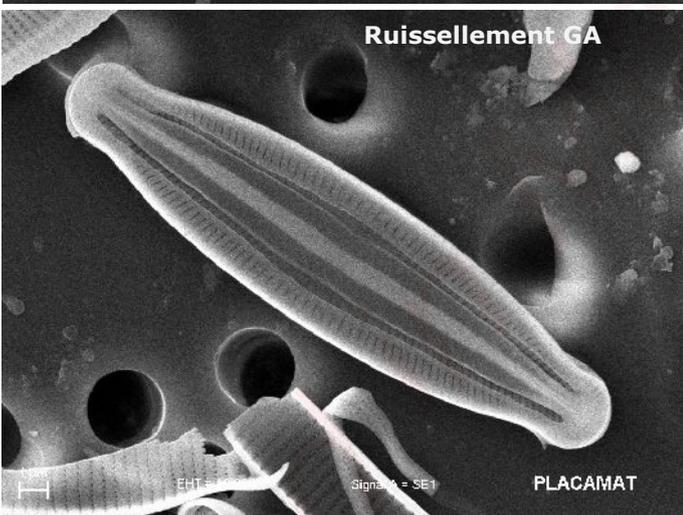
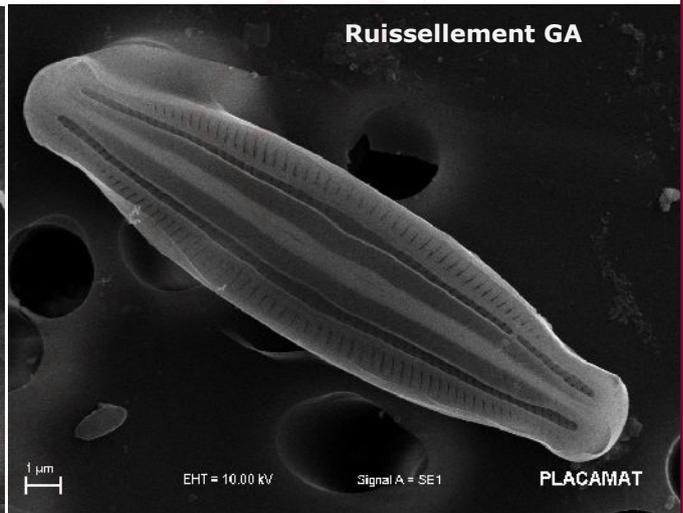
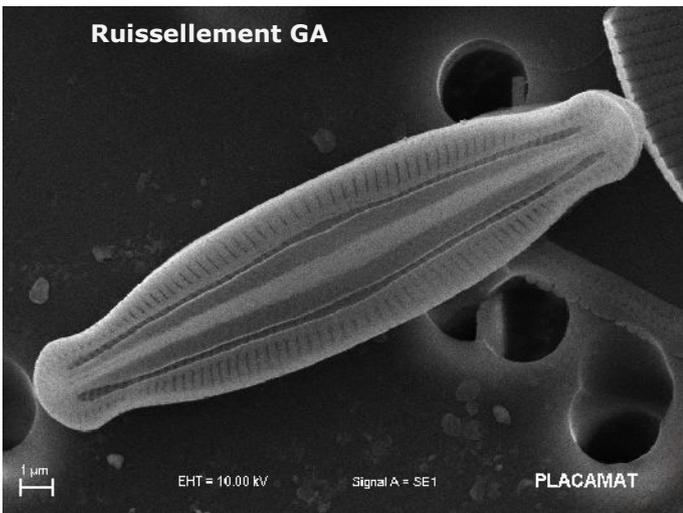
***Navicula guadalupensis* (NGDL) (genre *Microcostatus*)**

NAVICULA



10µm

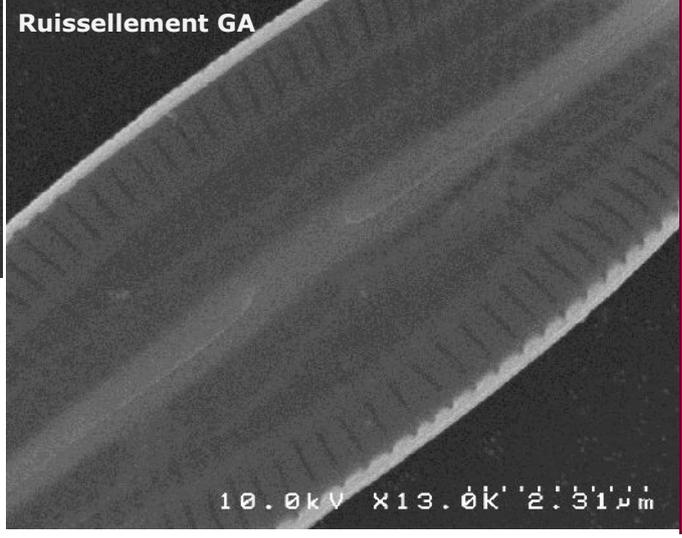
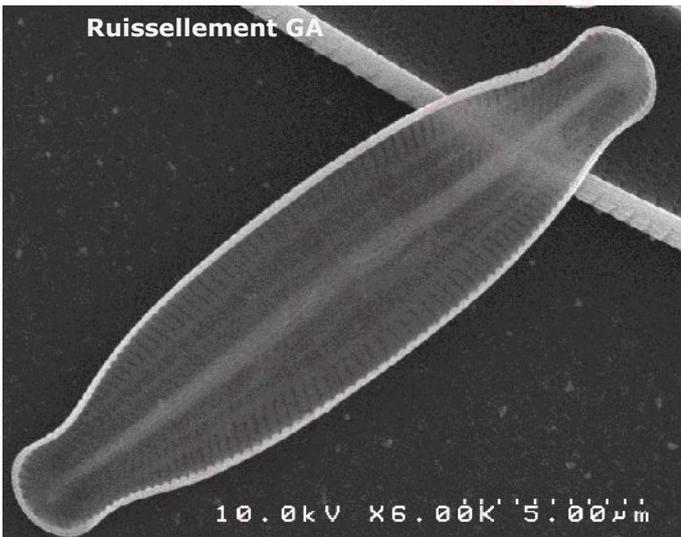
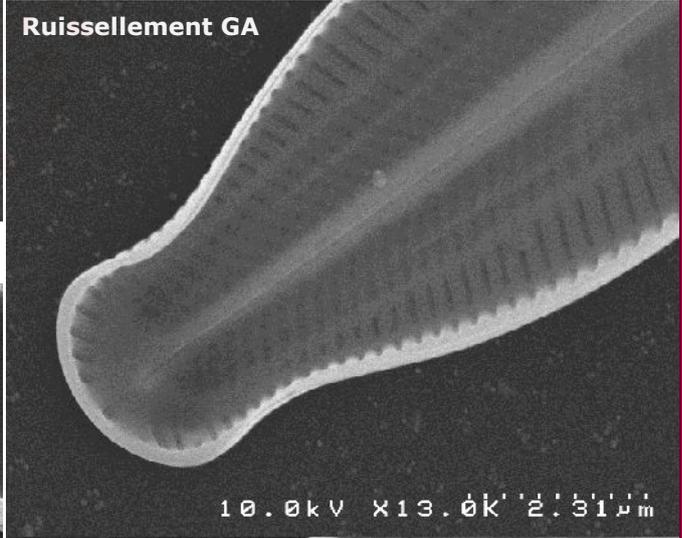
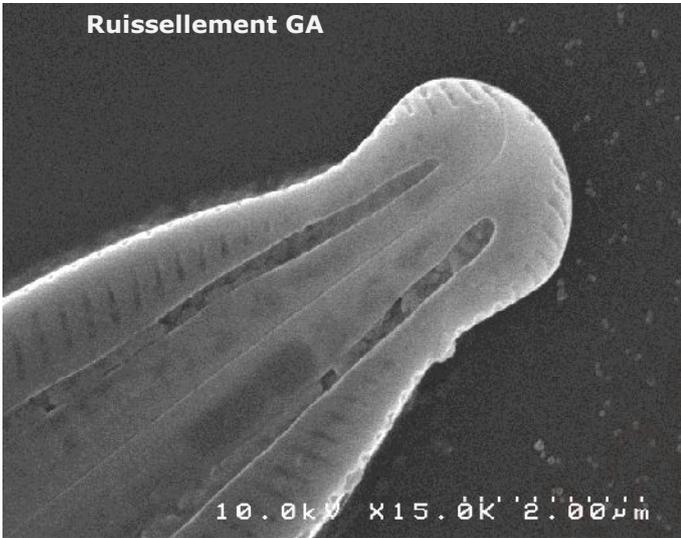
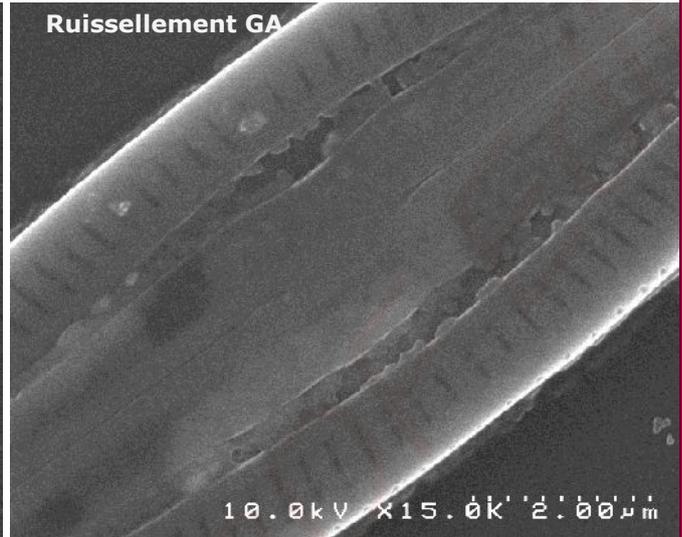
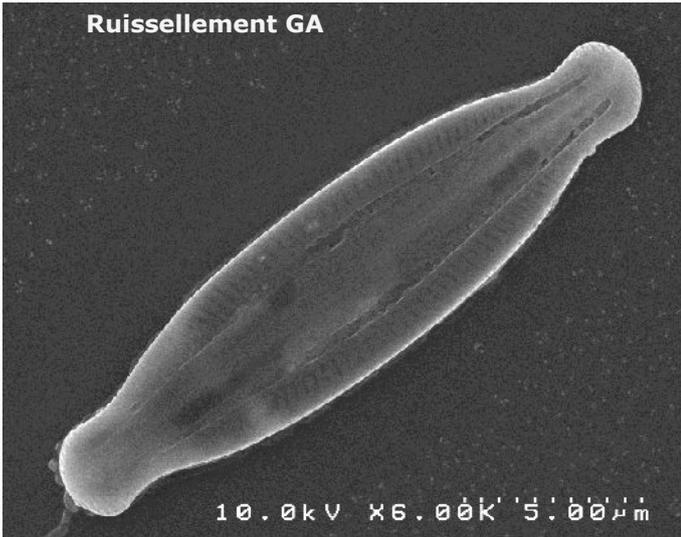
Ruissellement paroi
Source du Galion



Created with

***Navicula guadalupensis* (NGDL)**

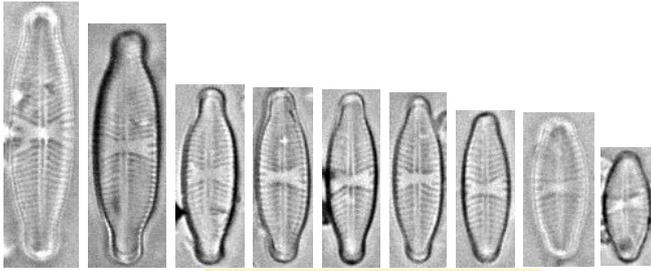
NAVICULA



Creo

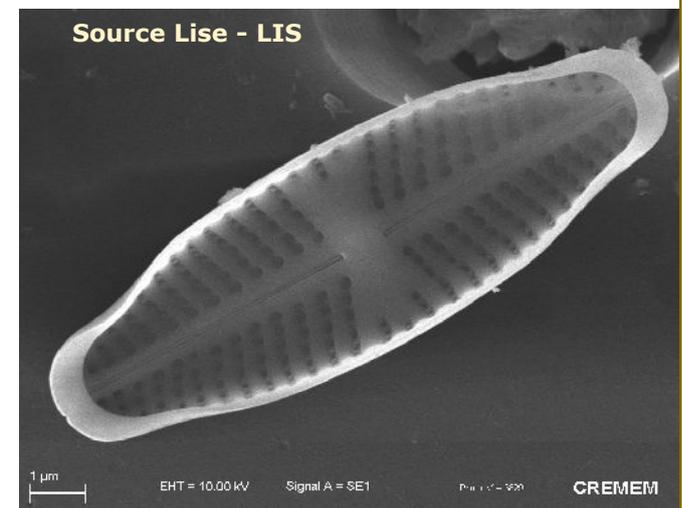
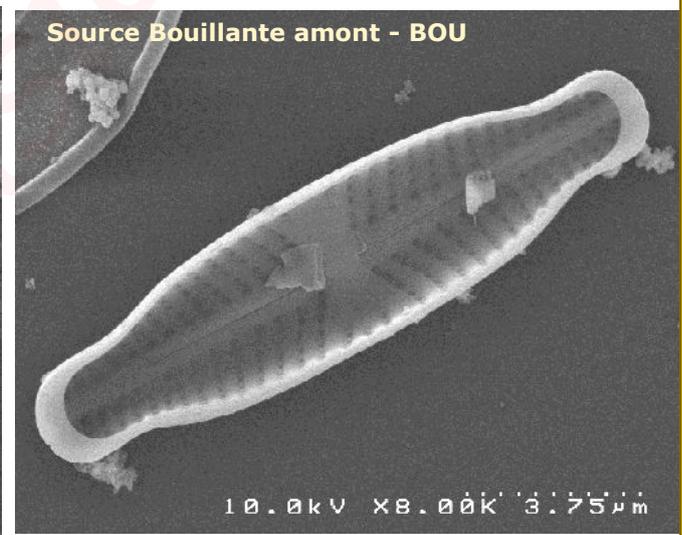
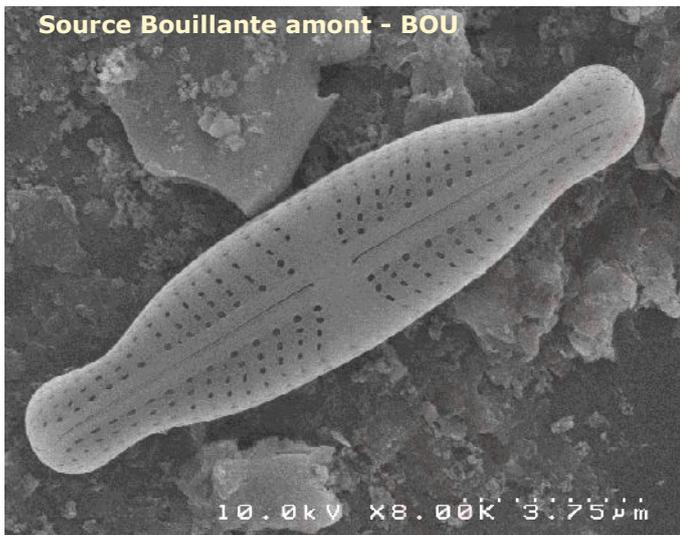
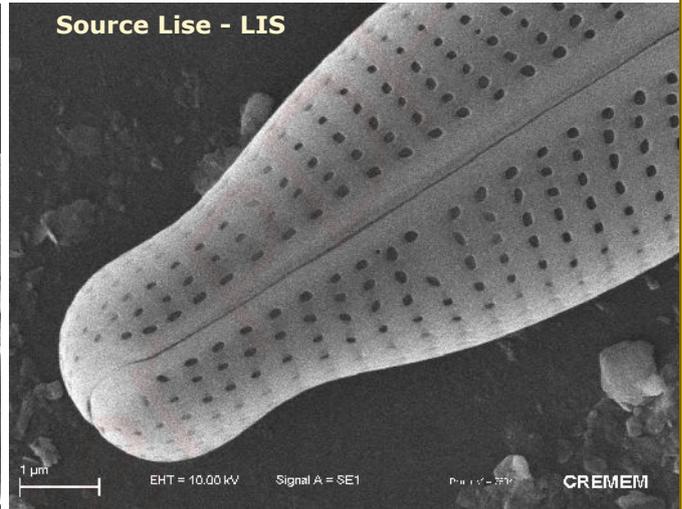
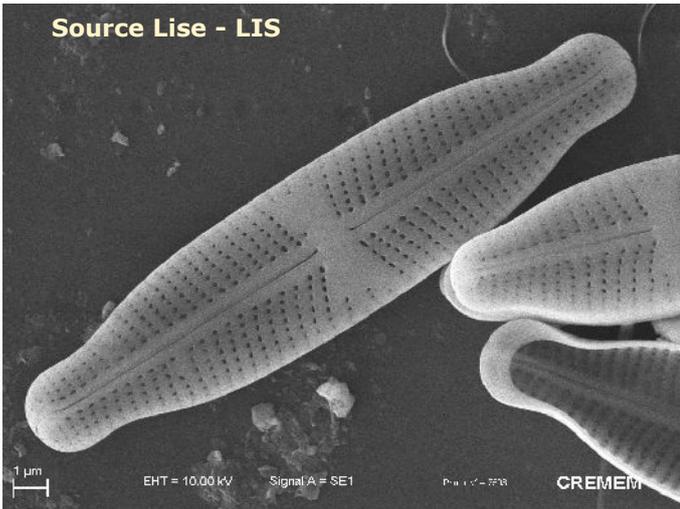
Stauroneis rostrata (SRST)

STAURONEIS



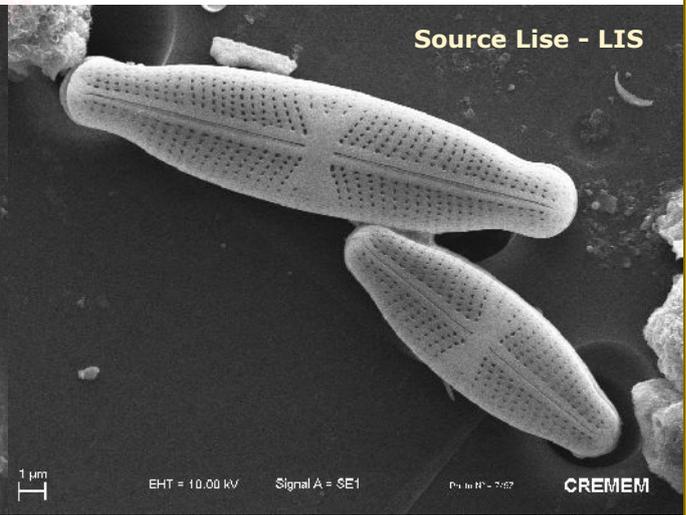
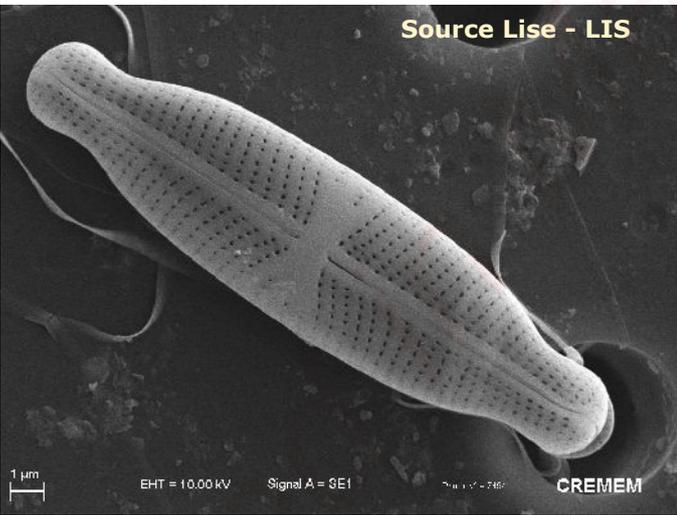
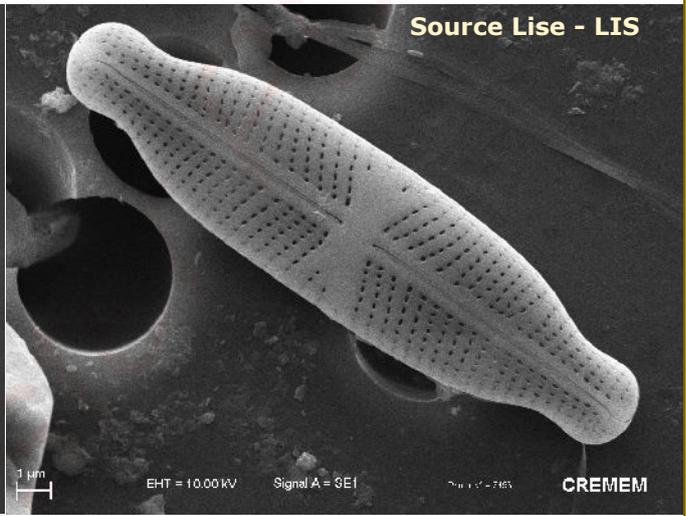
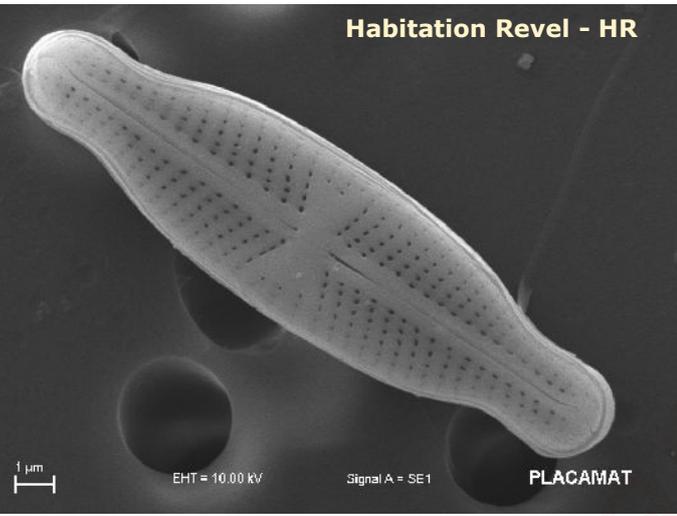
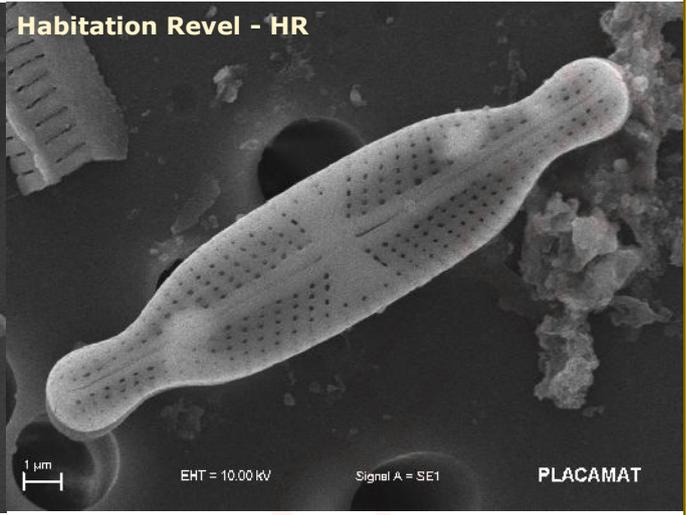
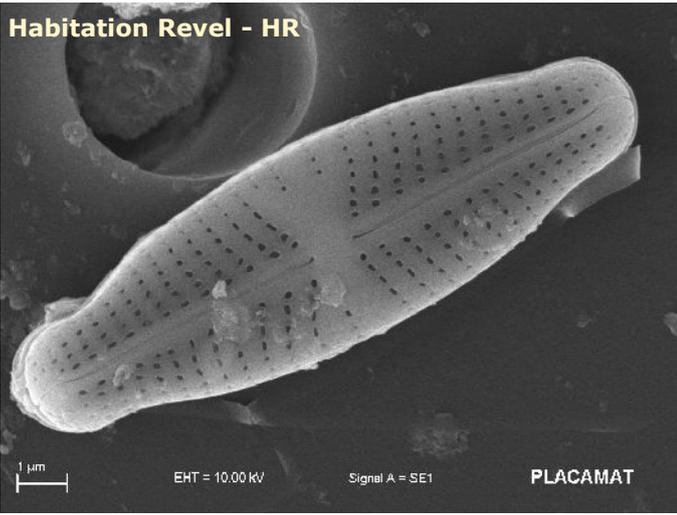
10µm

Source Lise - LIS



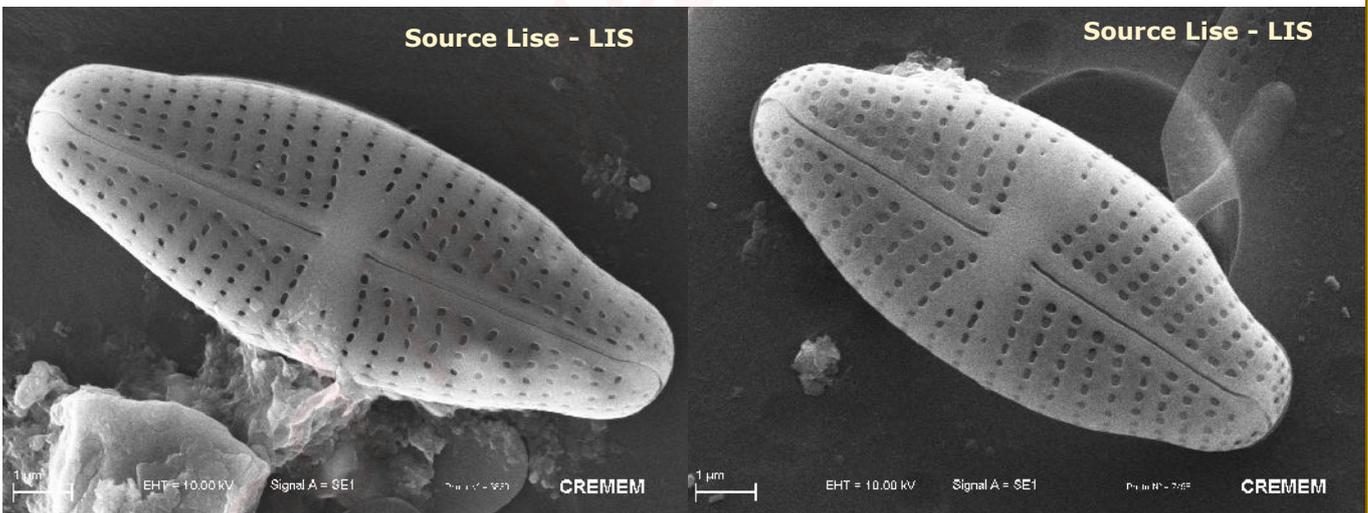
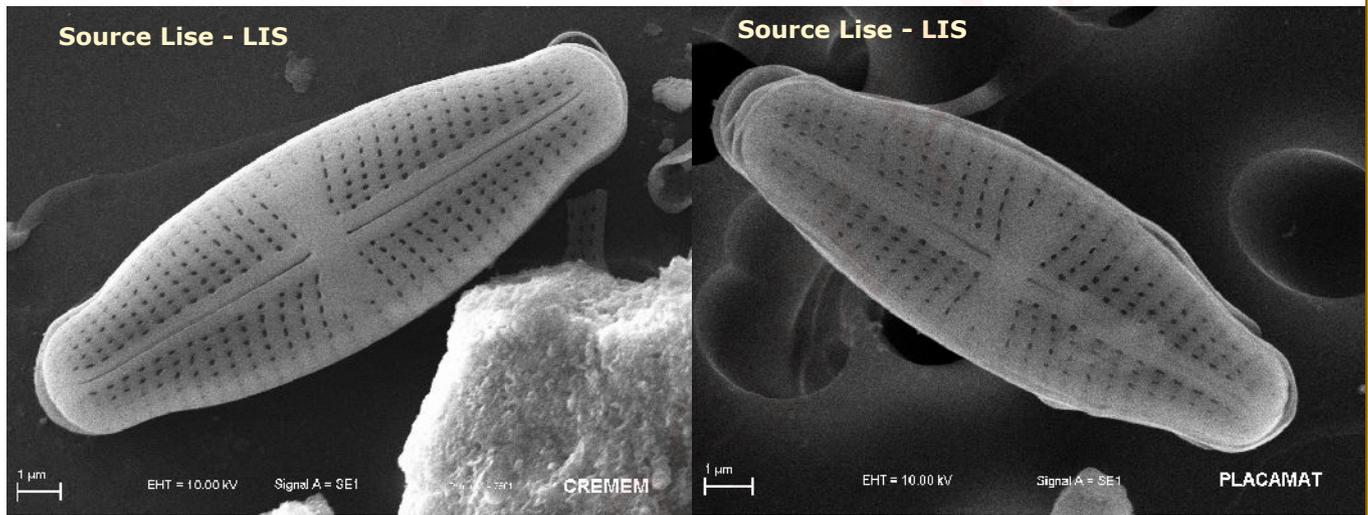
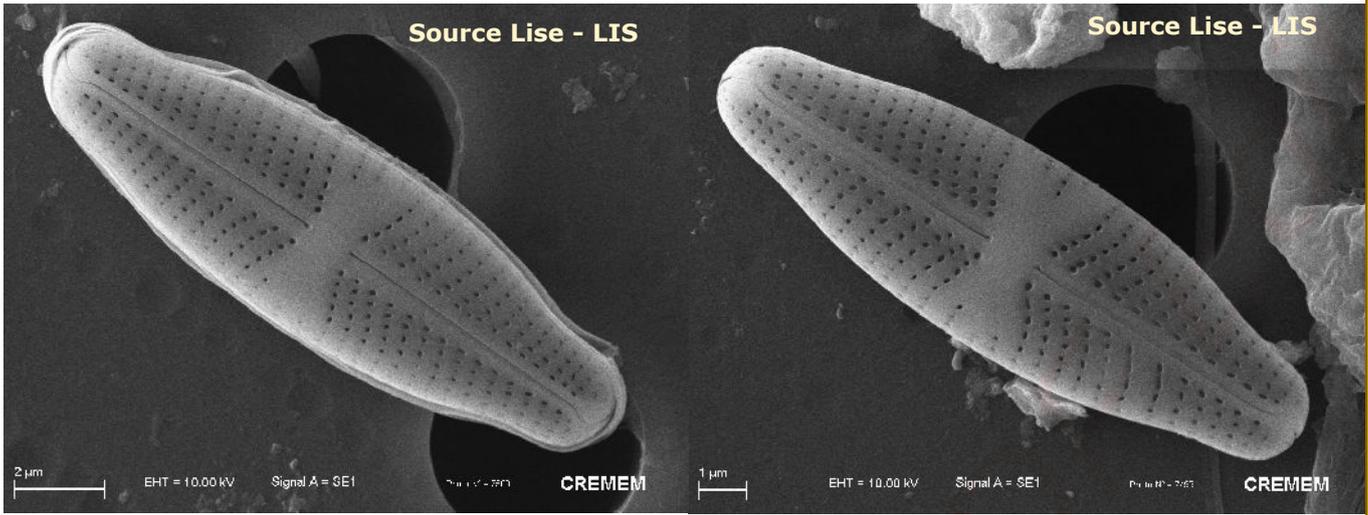
***Stauroneis rostrata* (SRST)**

STAURONEIS



Create

***Stauroneis rostrata* (SRST)**



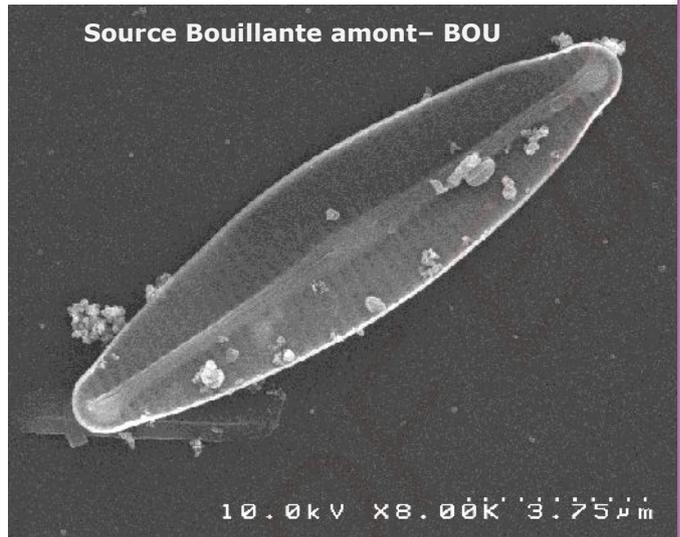
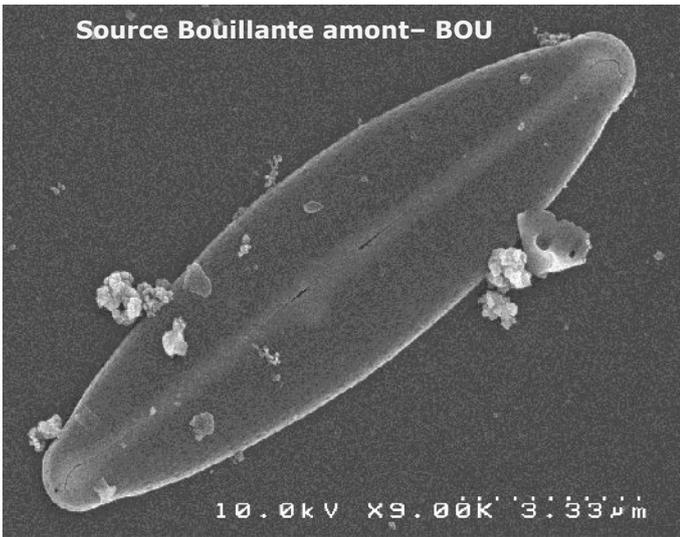
***Stauroneis sp1* (ST01)**



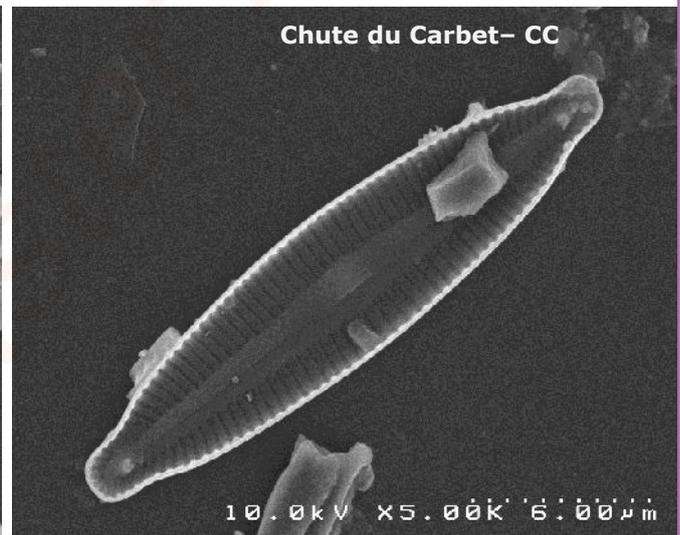
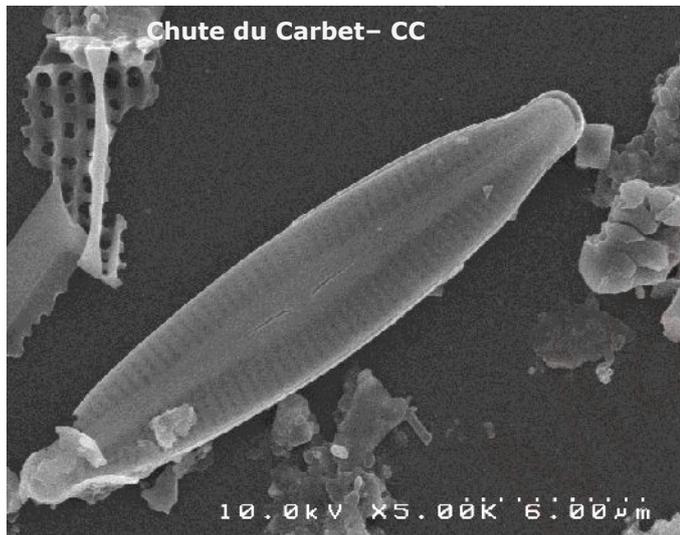
10µm

Chute du Carbet - CC

***Craticula molestiformis* (CMLF)**

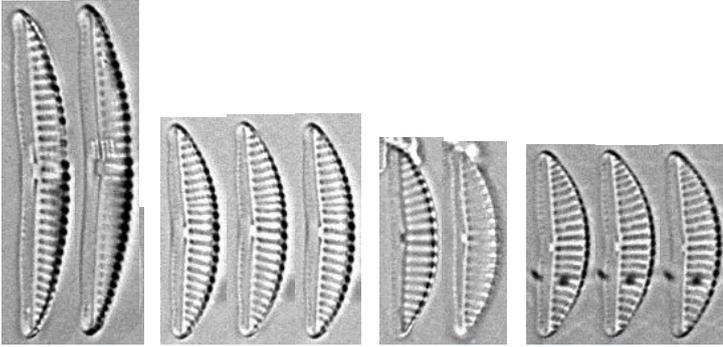


***Craticula sp4* (CRA4)**



Created in

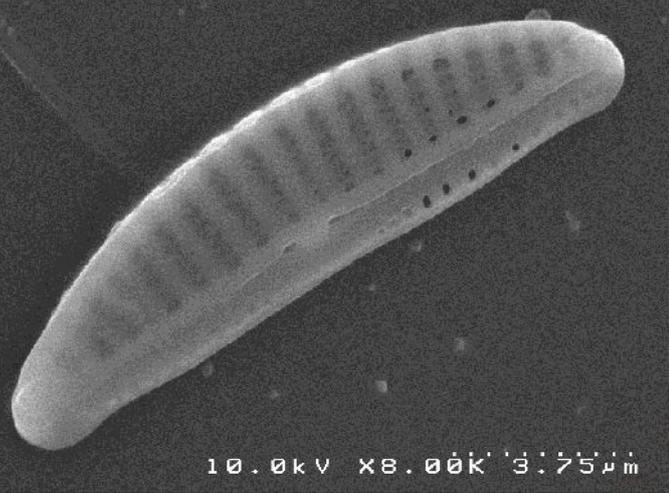
***Amphora sp11 (AM11)* (taxon nouveau pour la science?)**



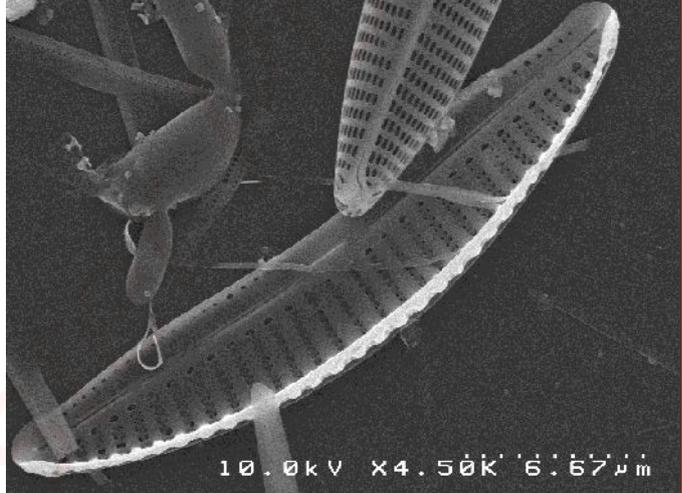
10µm

Source Anse Thomas—THO

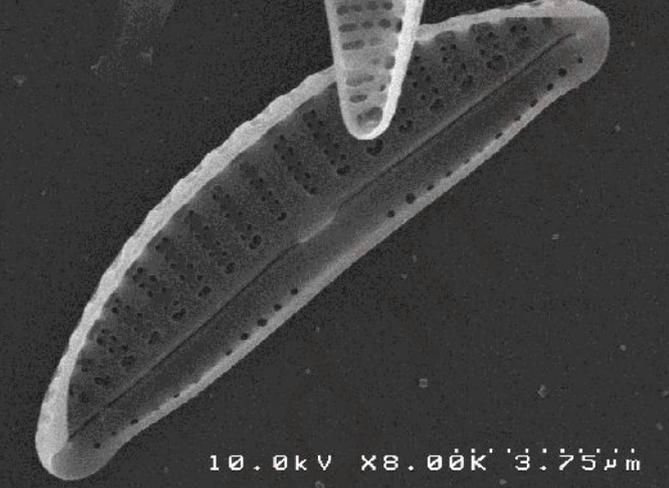
Source Anse Thomas—THO



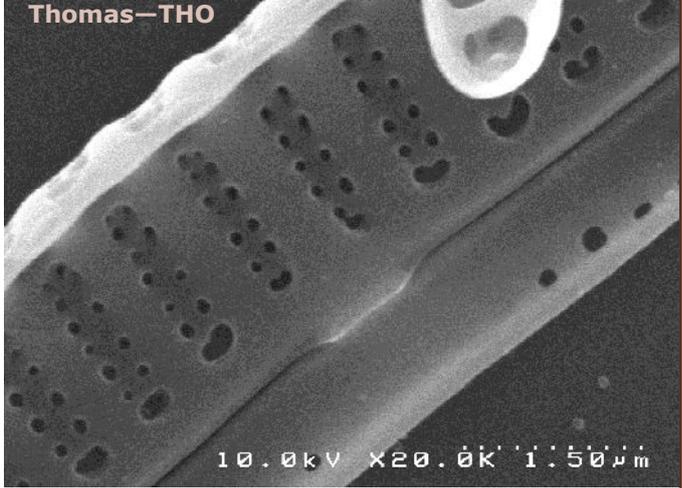
Source Anse Thomas—THO



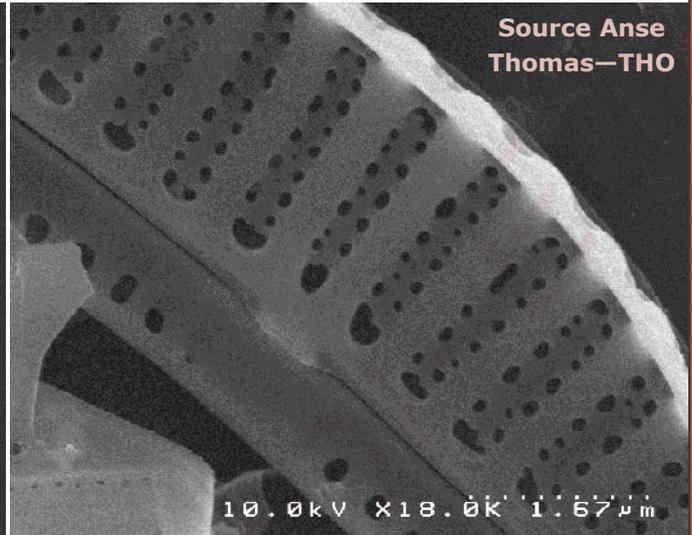
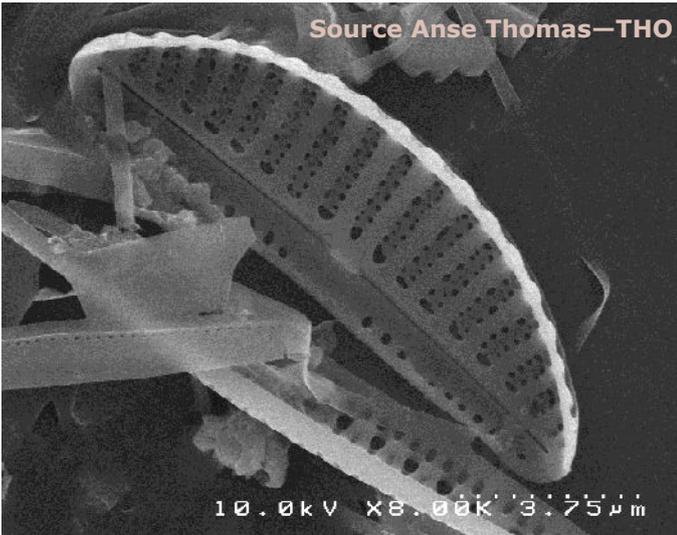
Source Anse Thomas—THO



Source Anse Thomas—THO



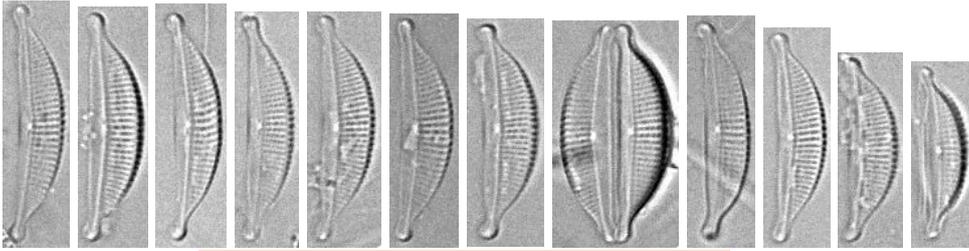
Halamphora cf. granulata (HLGR)



Created in Master PDF

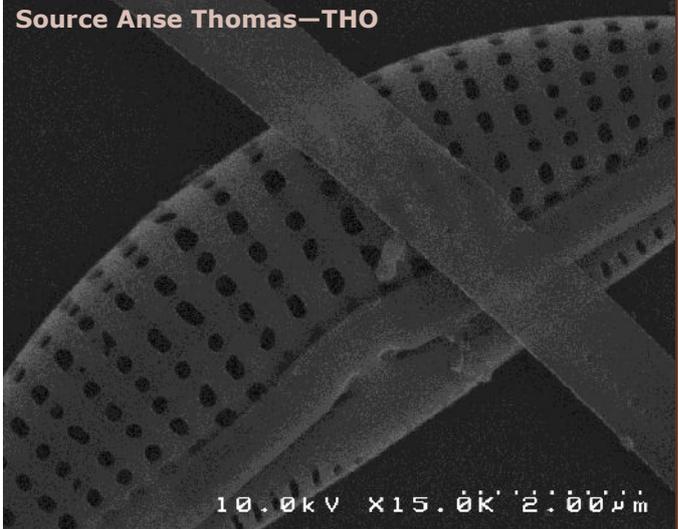
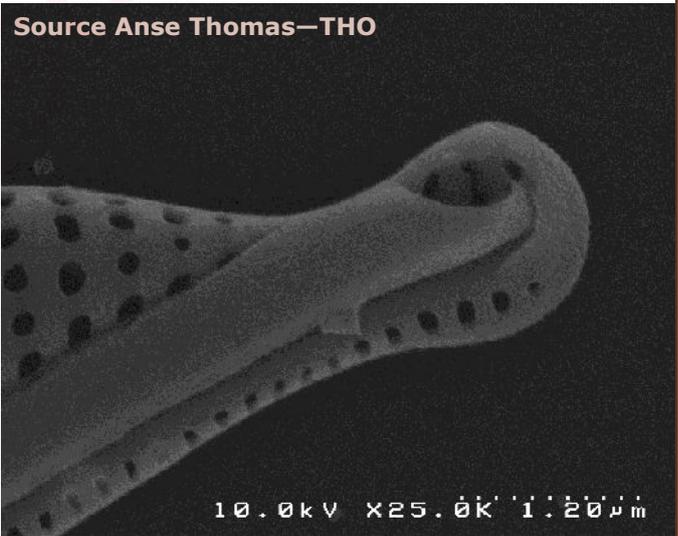
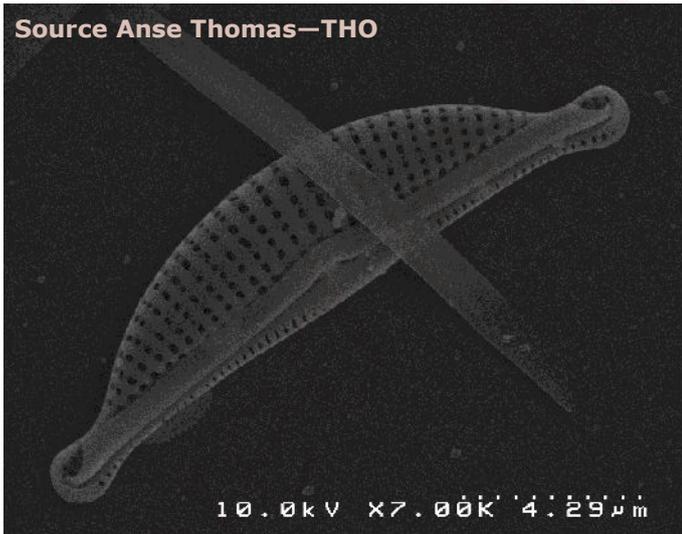
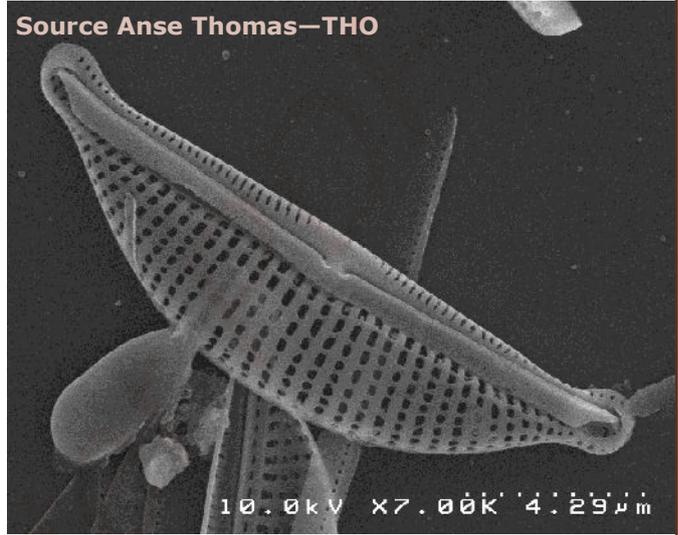
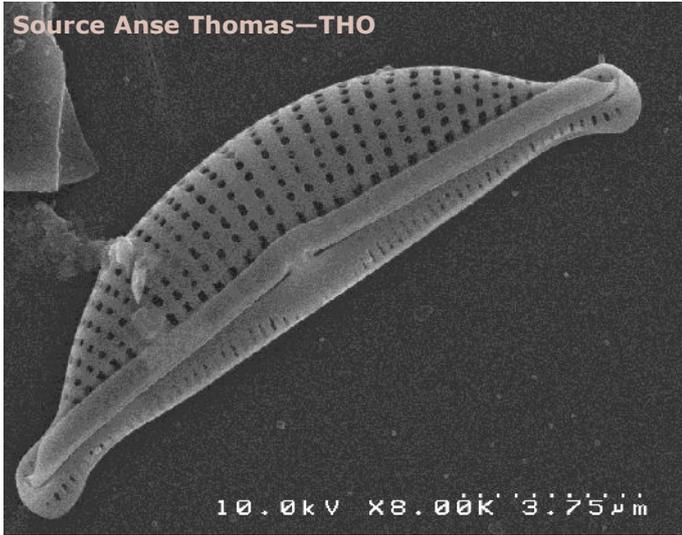
Halamphora subholsatica (HSHO)

HALAMPHORA



10µm

Source Anse Thomas—THO

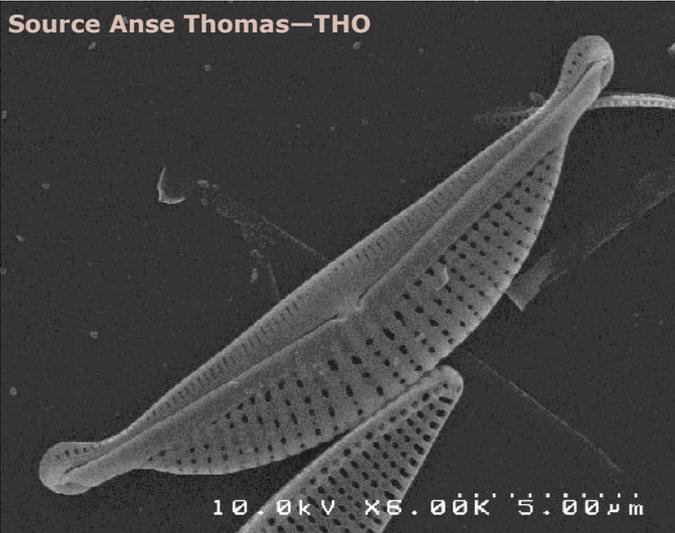


Created with

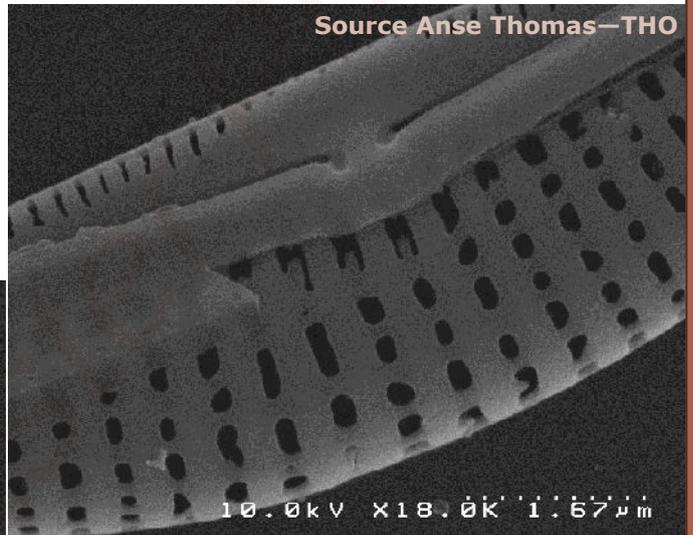
***Halamphora subholsatica* (HSHO)**

HALAMPHORA

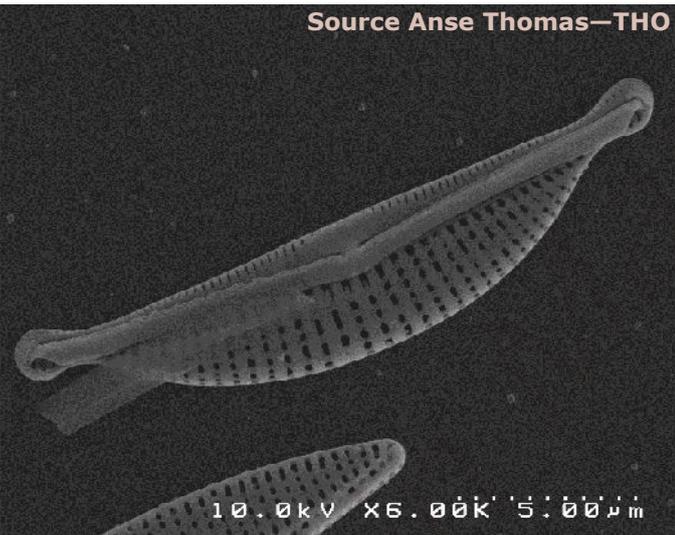
Source Anse Thomas—THO



Source Anse Thomas—THO



Source Anse Thomas—THO



Source Anse Thomas—THO

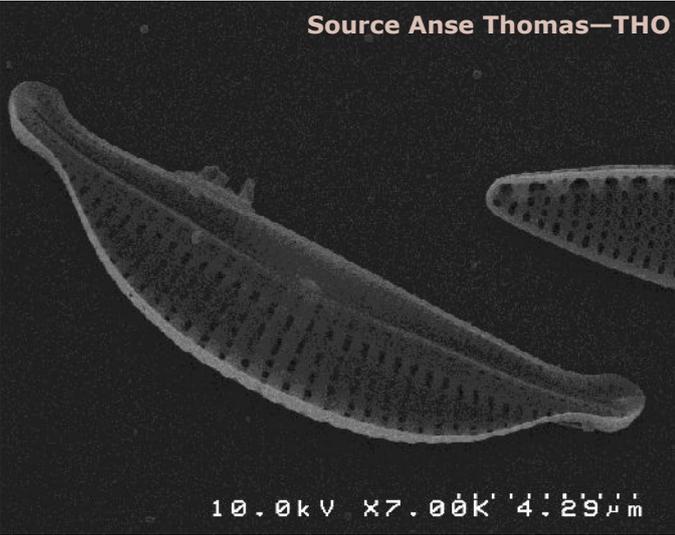


Created in

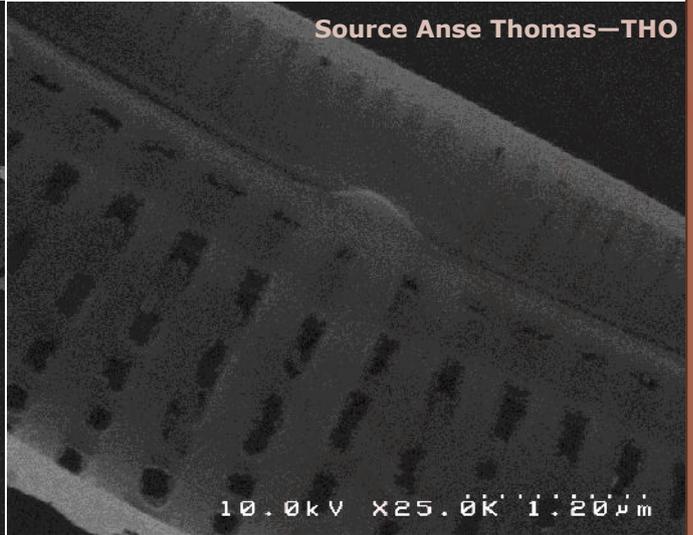
PDF Editor

***Halamphora subholsatica* (HSHO)**

Source Anse Thomas—THO



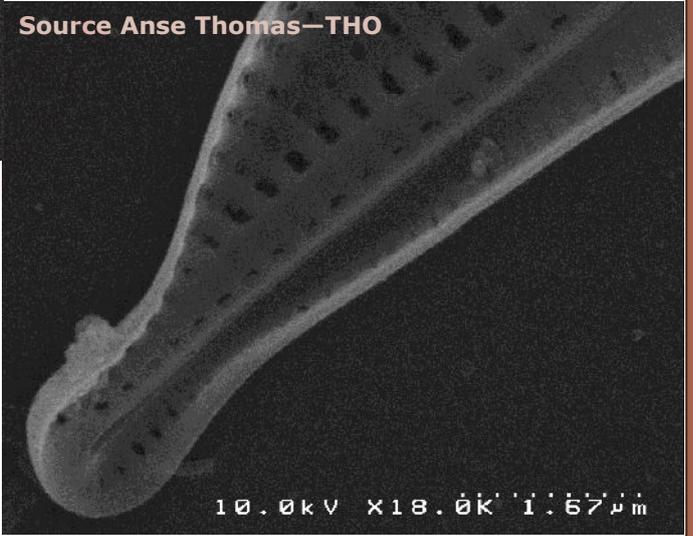
Source Anse Thomas—THO



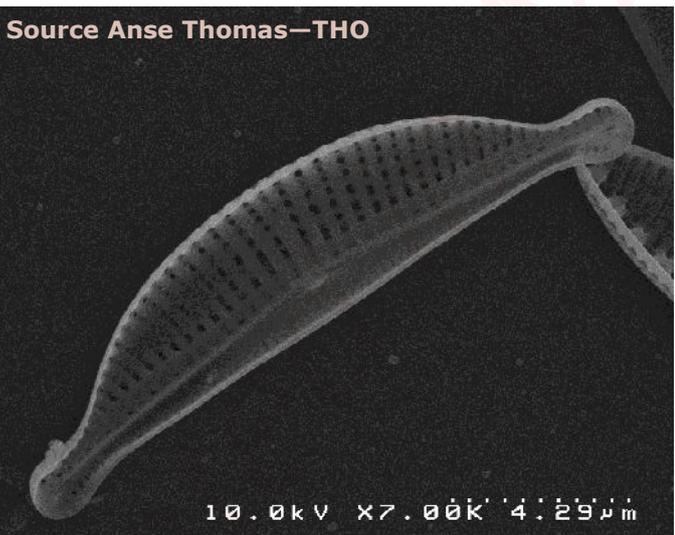
Source Anse Thomas—THO



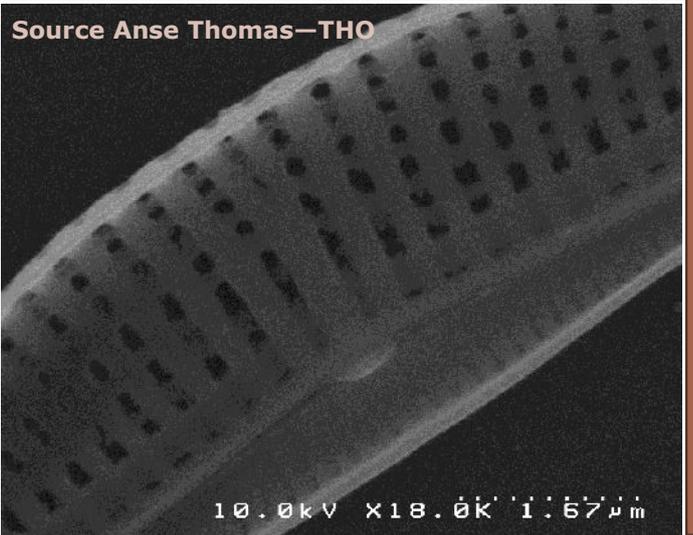
Source Anse Thomas—THO



Source Anse Thomas—THO



Source Anse Thomas—THO

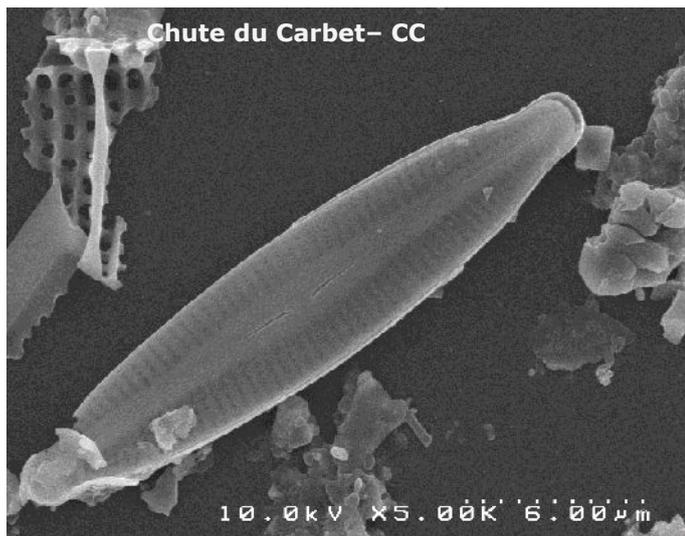


***Encyonopsis cf. subminuta* (ESUM)**

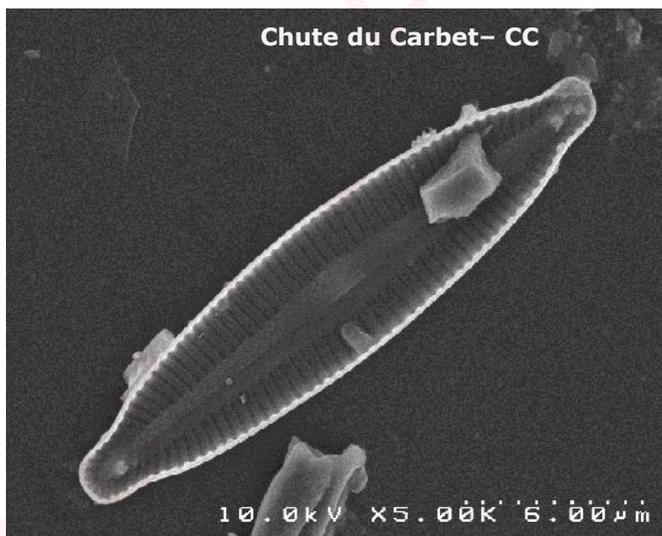


10µm

Chute du Carbet - CC



Chute du Carbet- CC



Chute du Carbet- CC

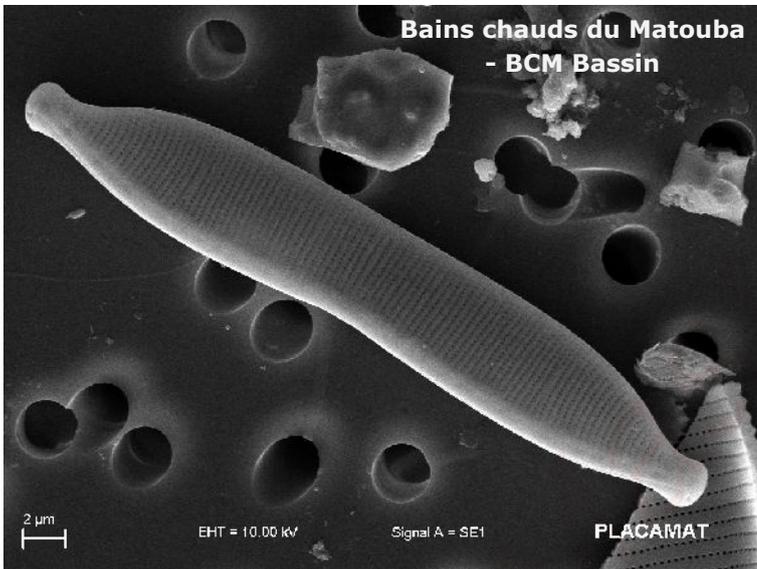
Created in Mas...

***Hantzschia amphioxys* (HAMP)**

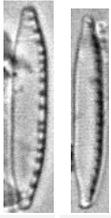


Bains chauds du Matouba
- BCM Bassin

10µm



Nitzschia acidoclinata (NACD)

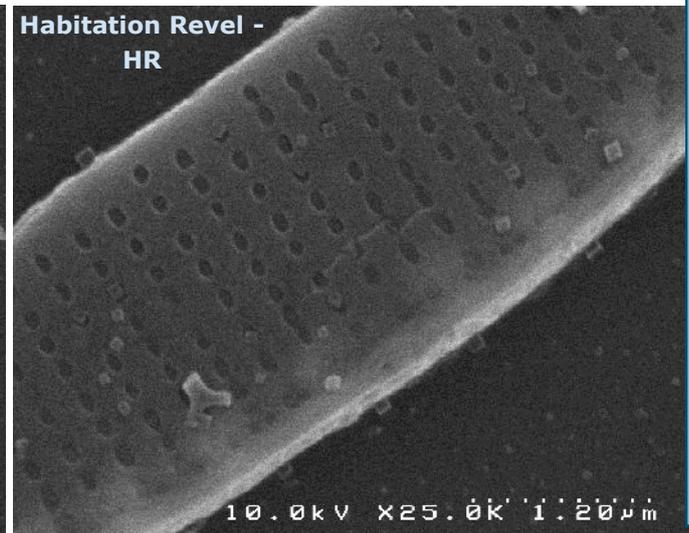
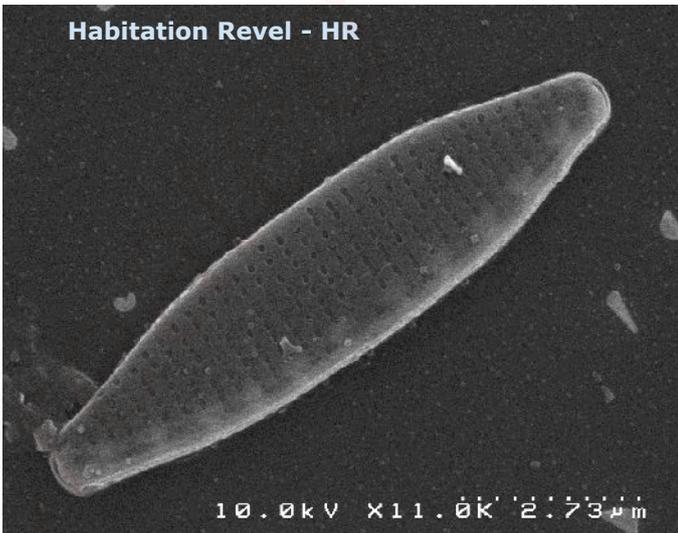
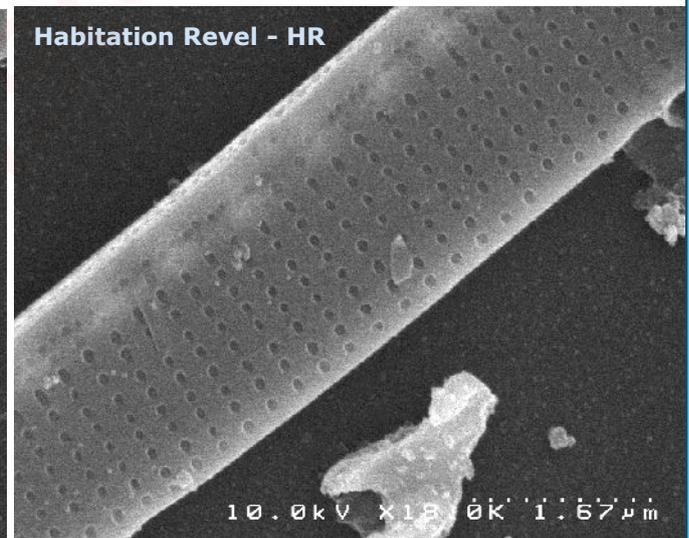
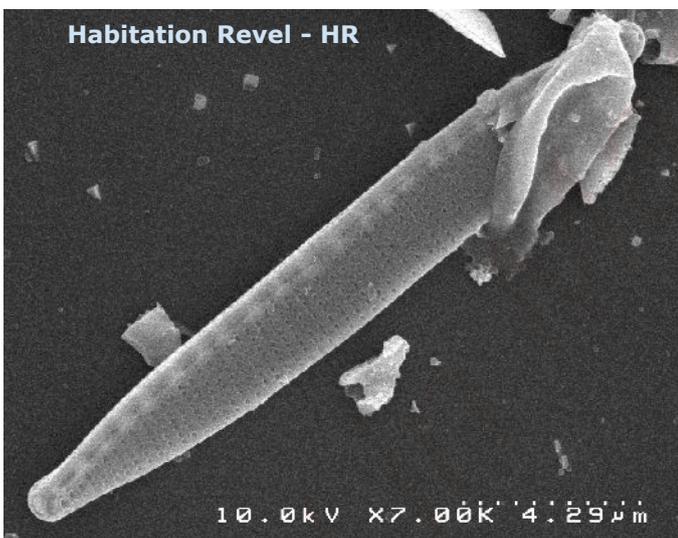
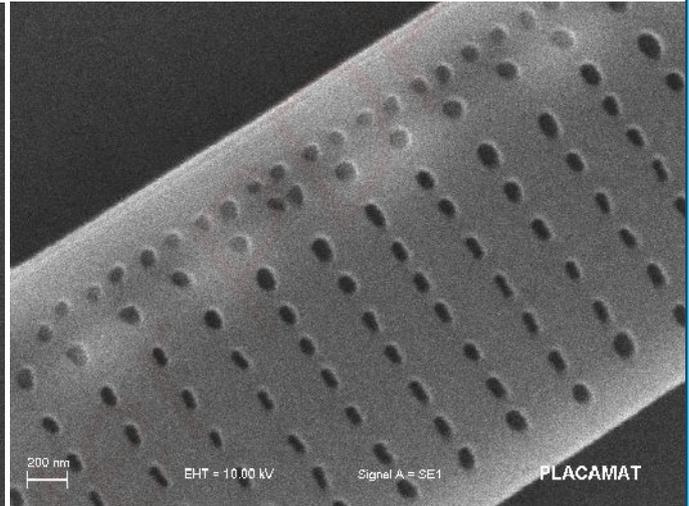
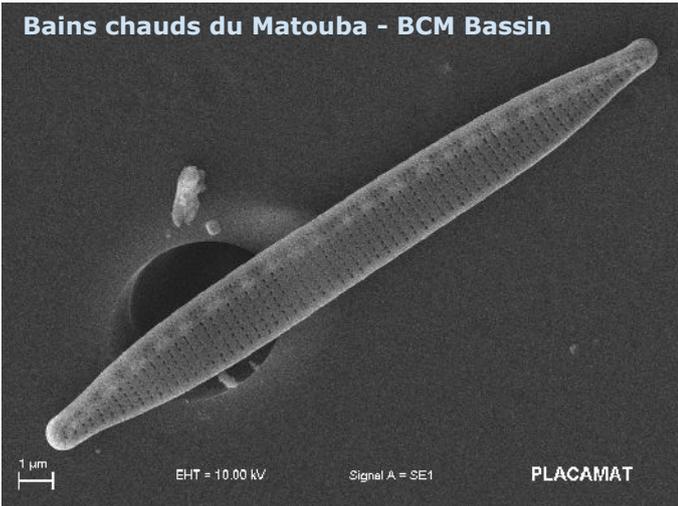


2 2

- 1 Source Tarade - TA
- 2 Bains Chauds du Matouba -BCM Bassin
- 3 Ravine Marchand - RM2
- 4 Source Bouillante amont—BOU

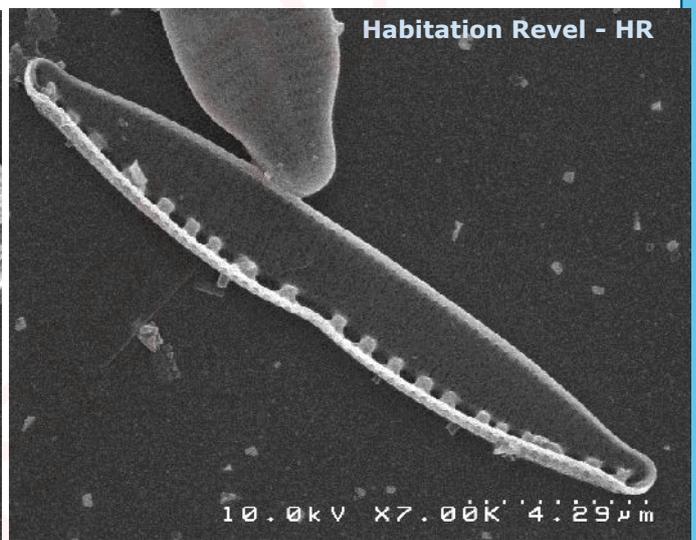
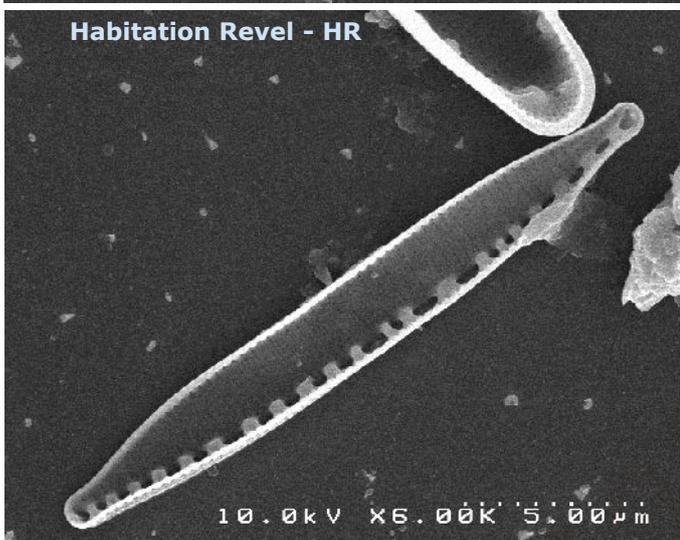
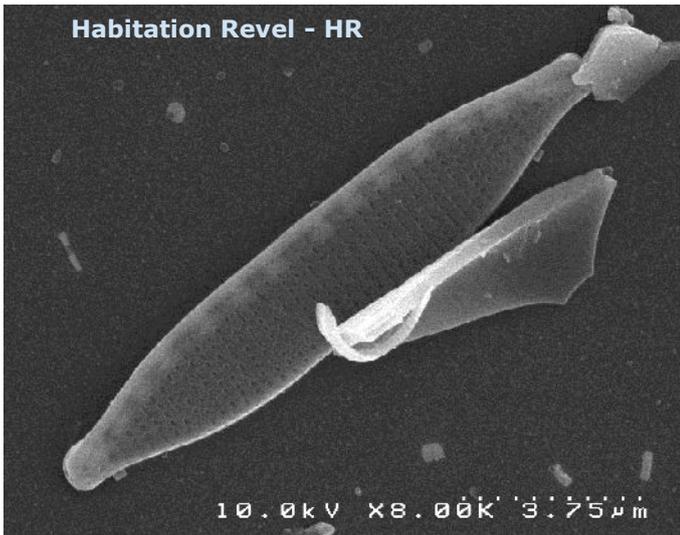
10µm

NITZSCHIA



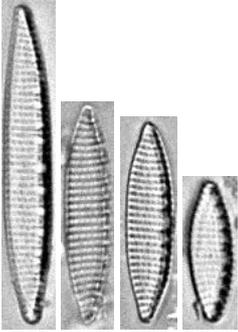
***Nitzschia acidoclinata* (NACD)**

NITZSCHIA



Created in MicroEditor

Nitzschia amphibia (NAMP)



5

5

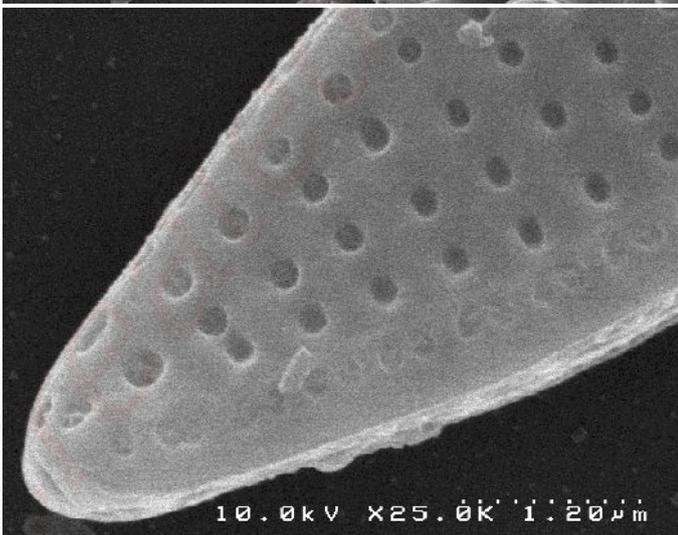
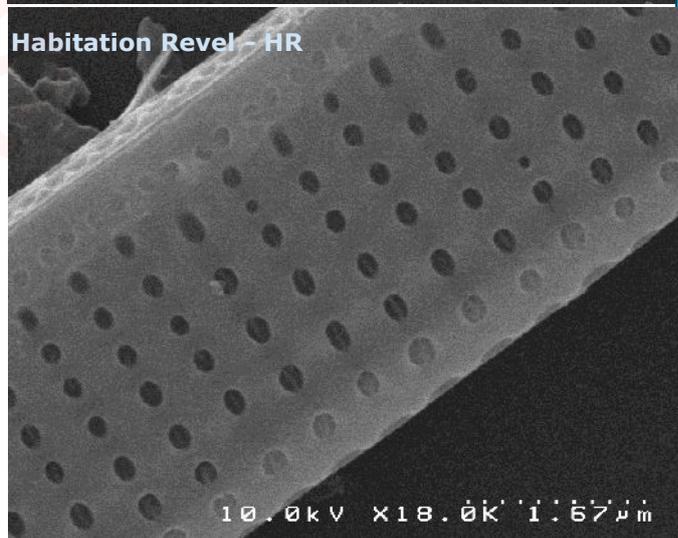
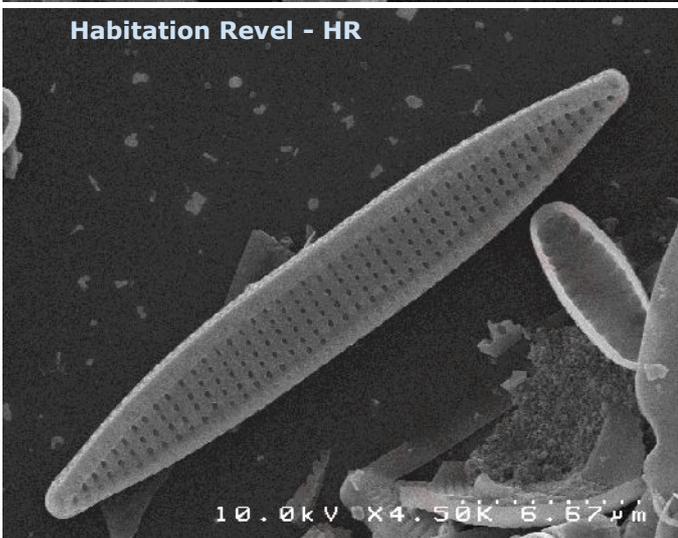
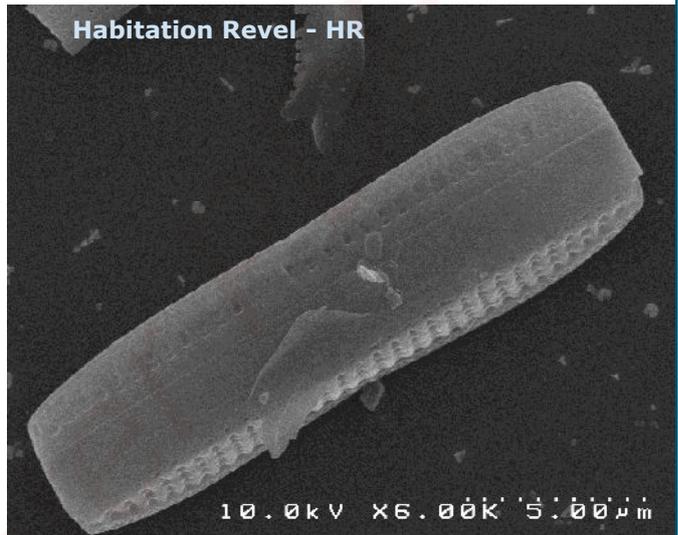
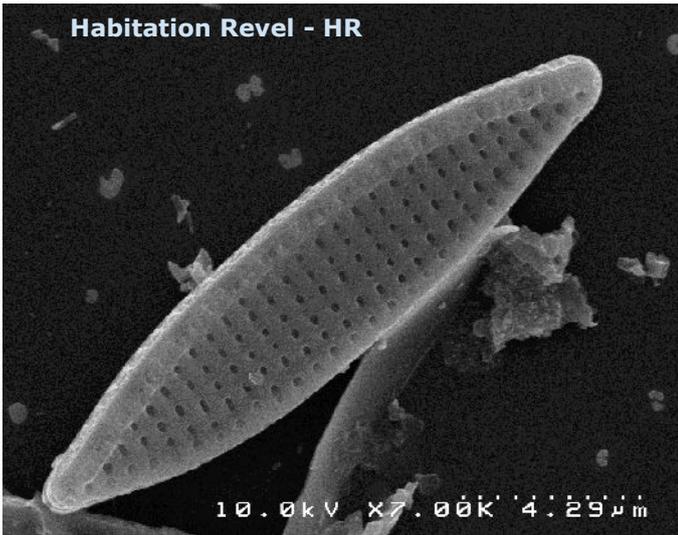
4

5

- 1 Source Tarade - TA
- 2 Bains Chauds du Matouba -BCM Bassin
- 3 Ravine Marchand - RM2
- 4 Source Bouillante amont—BOU
- 5 Habitation Revel - HR

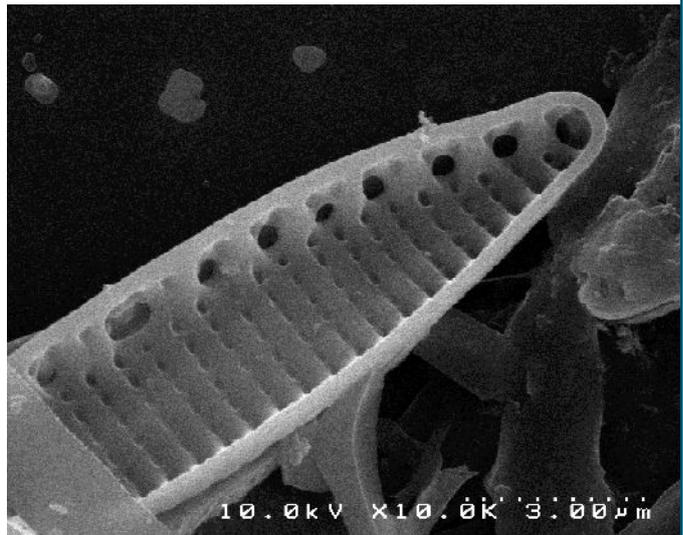
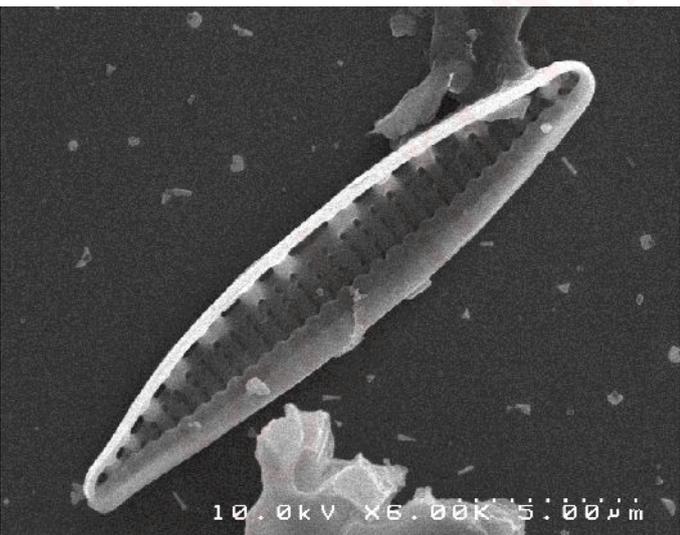
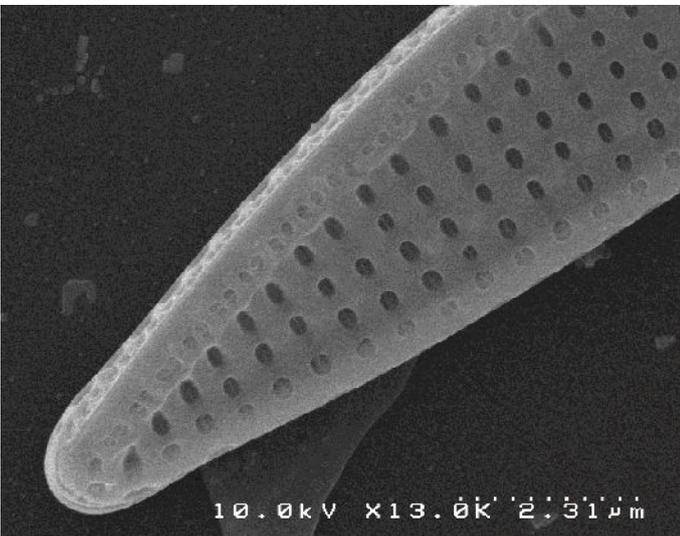
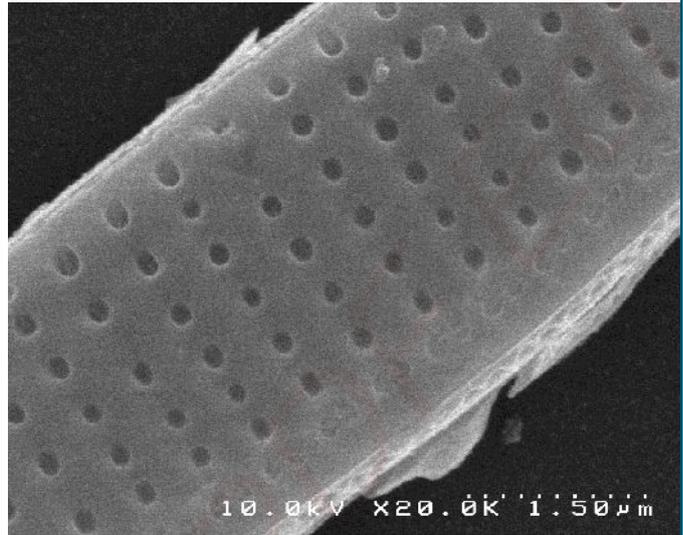
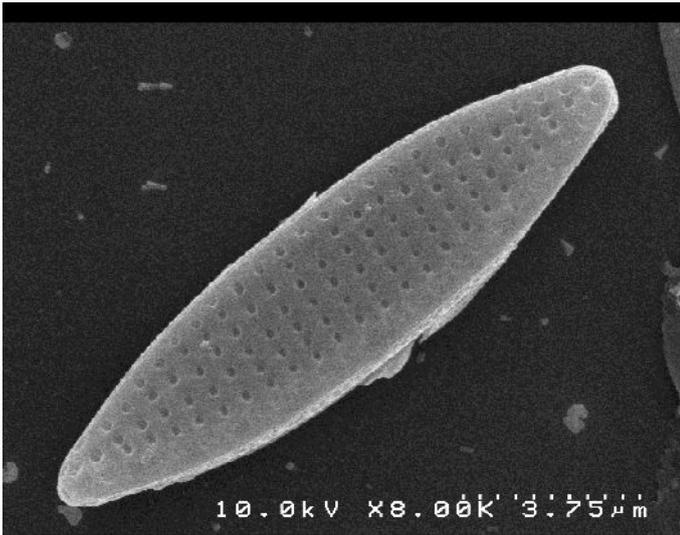
10µm

NITZSCHIA



Nitzschia amphibia (NAMP)

NITZSCHIA



Creed

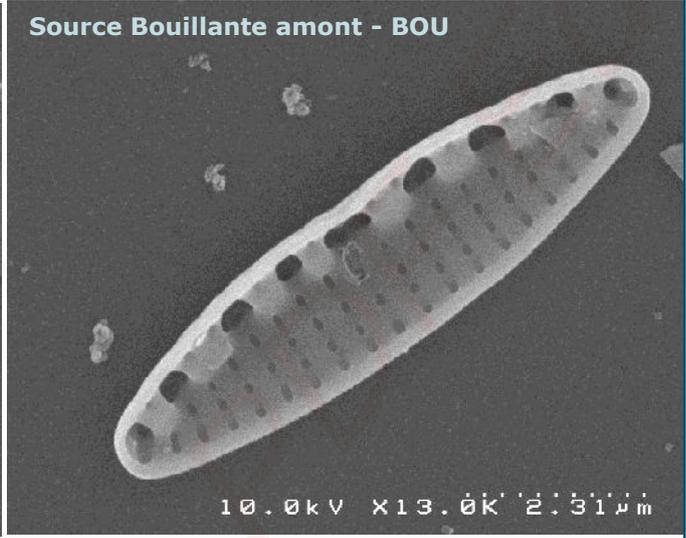
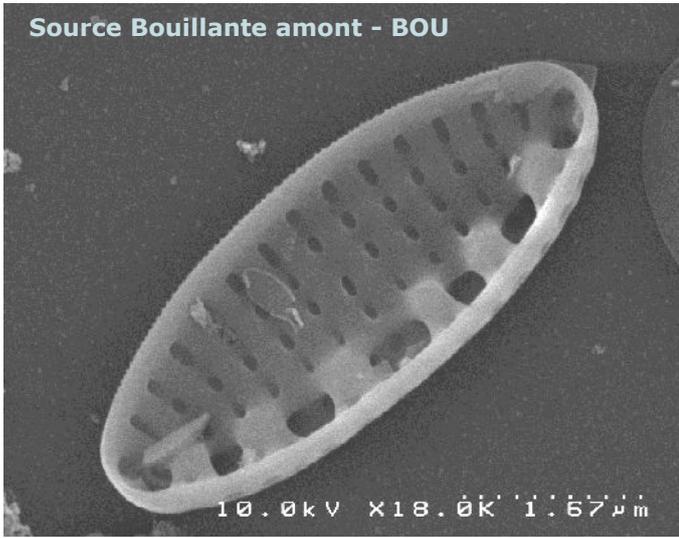
***Nitzschia inconspicua* (NINC)**



Source Bouillante amont - BOU

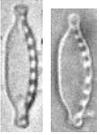
10µm

NITZSCHIA



Created in Master

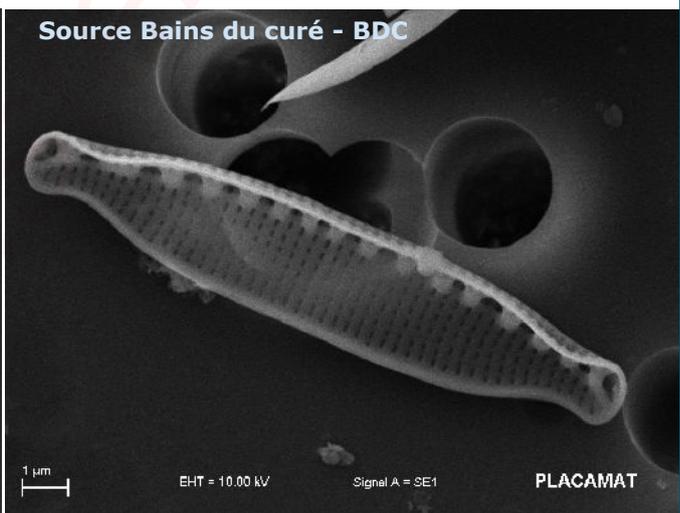
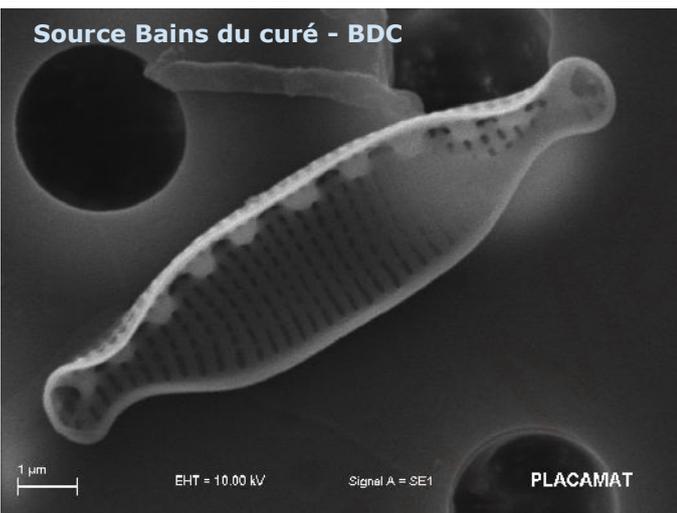
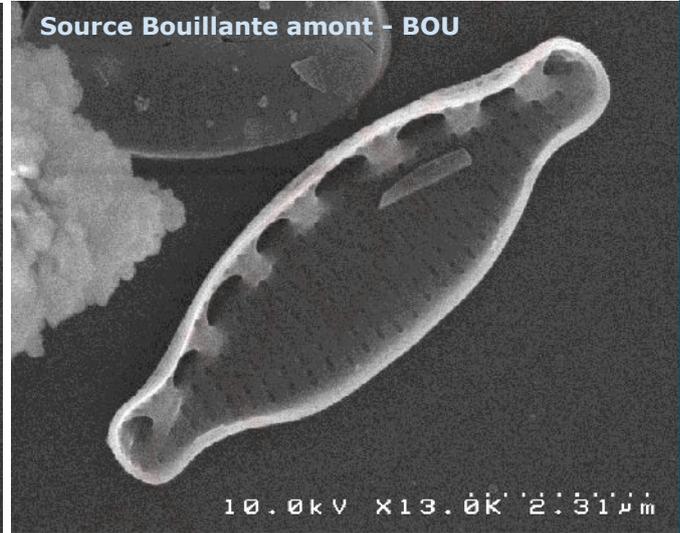
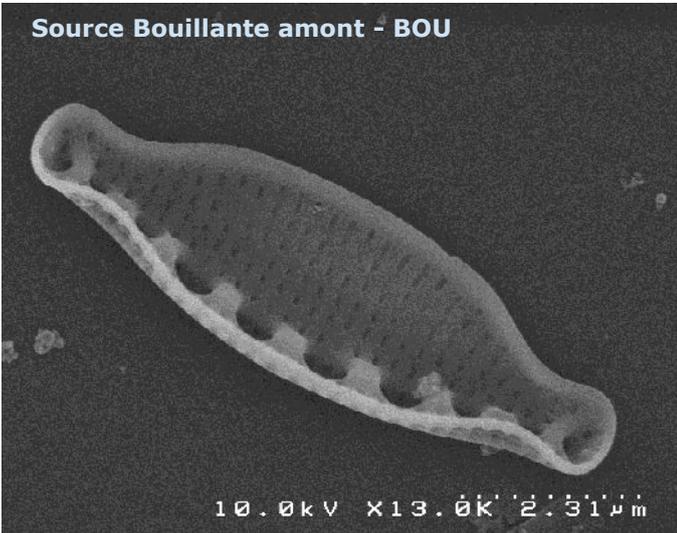
Nitzschia microcephala (NMIC)



Source Bouillante
amont - BOU

10µm

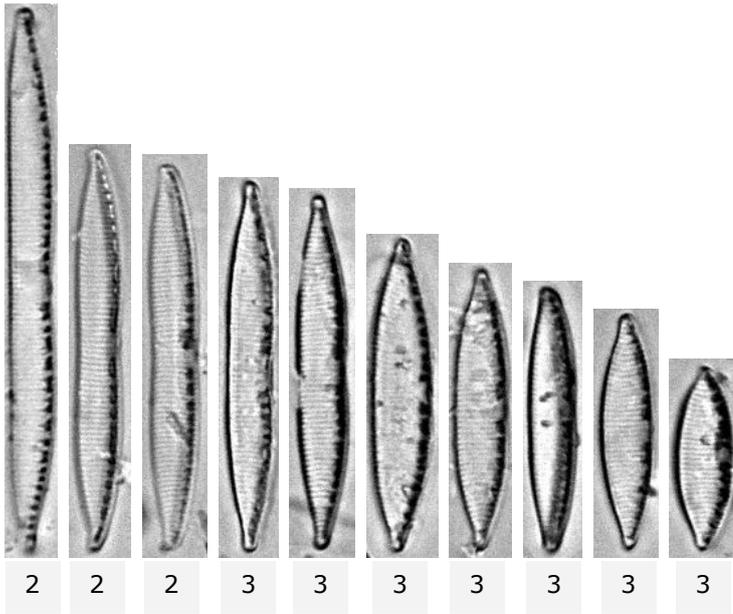
NITZSCHIA



Created in

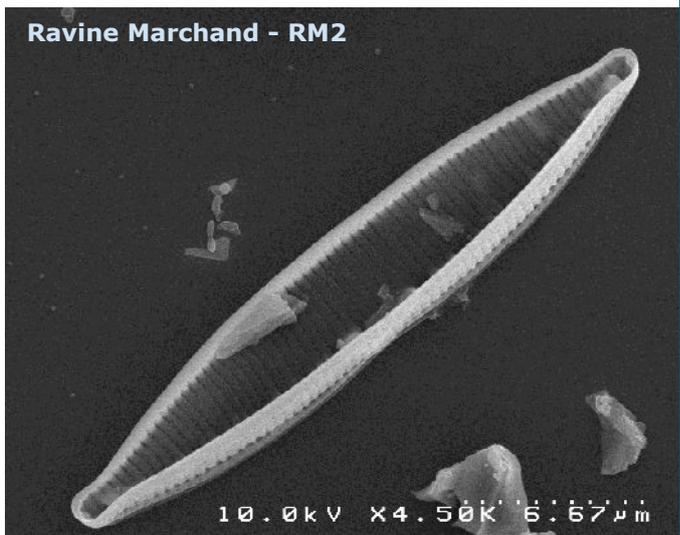
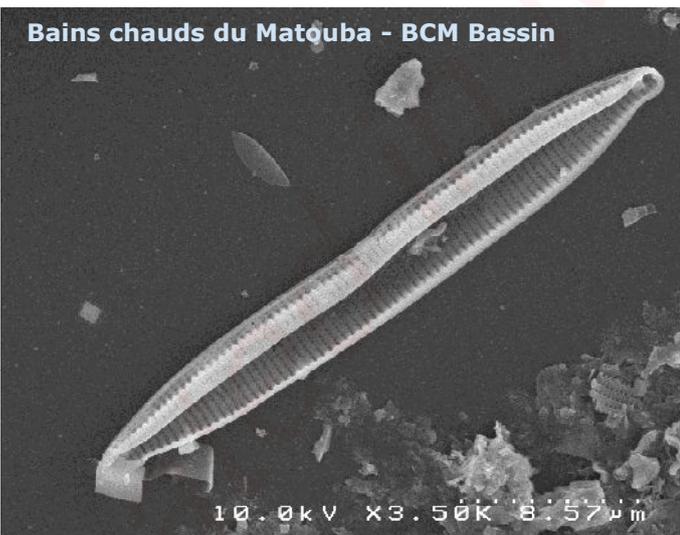
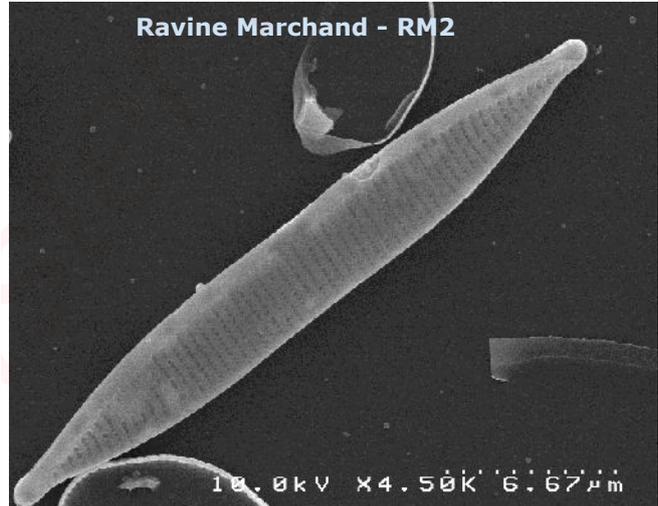
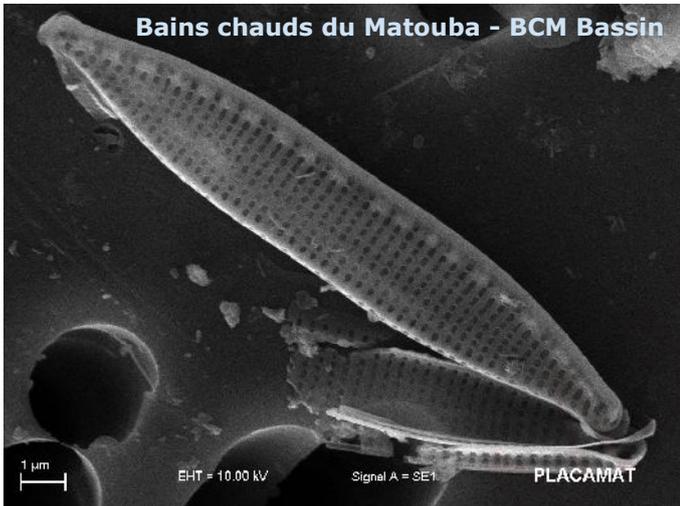
Nitzschia serrata (NISE)

NITZSCHIA



10µm

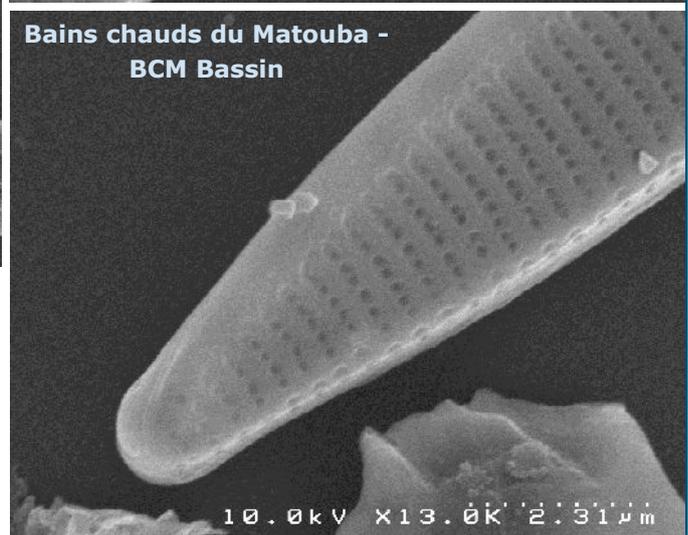
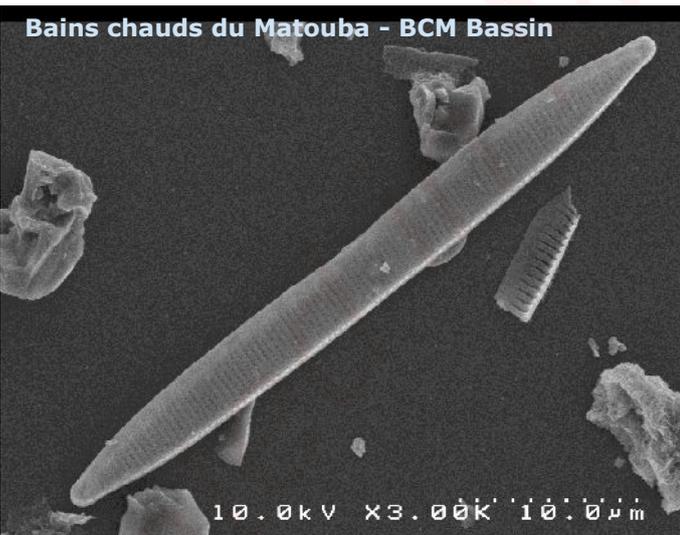
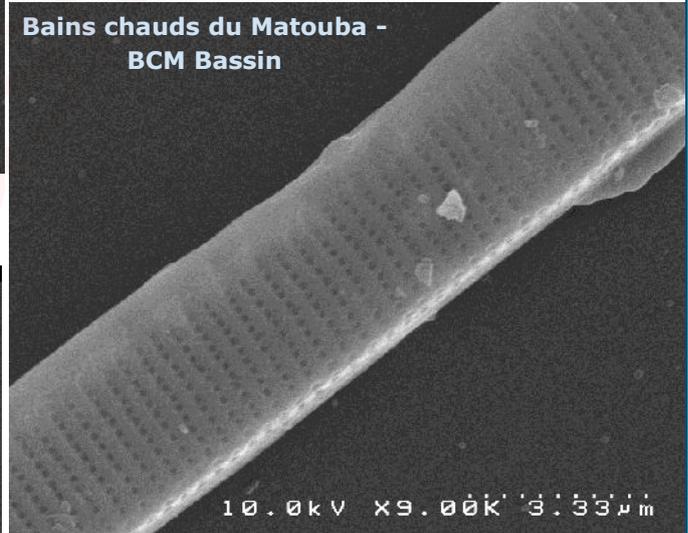
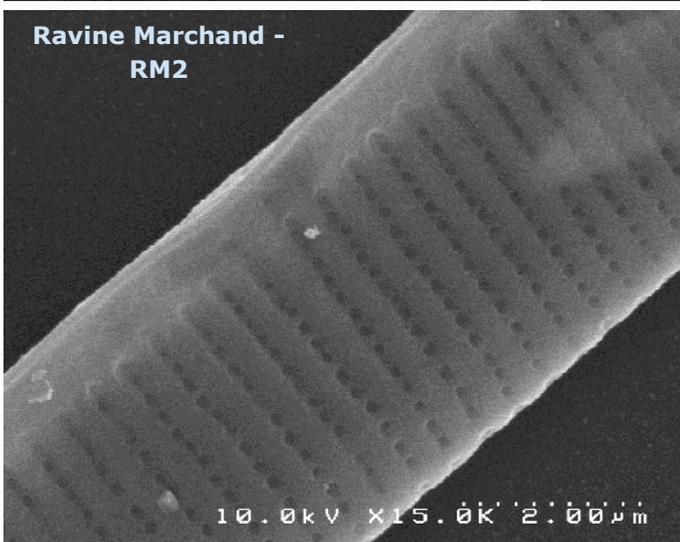
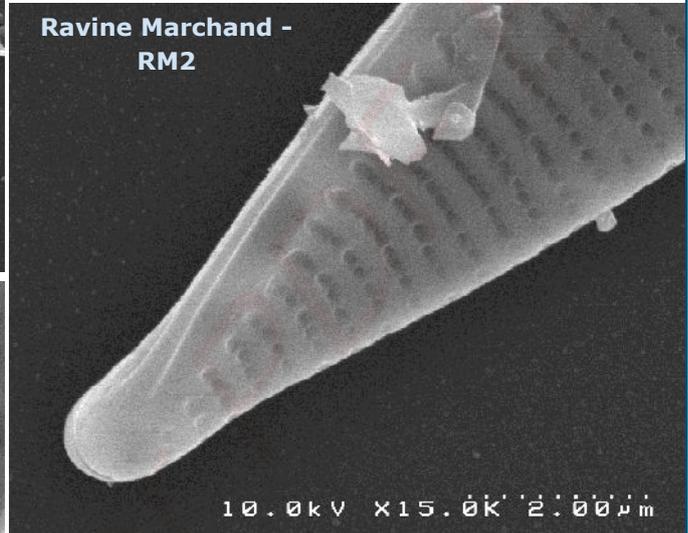
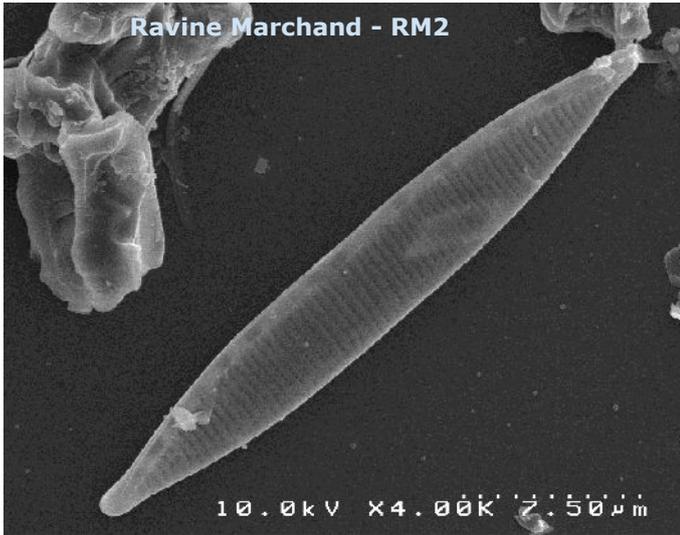
- 1 Source Tarade - TA
- 2 Bains Chauds du Matouba - BCM Bassin
- 3 Ravine Marchand - RM2



Creed

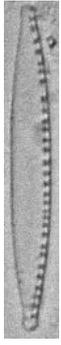
***Nitzschia serrata* (NISE)**

NITZSCHIA



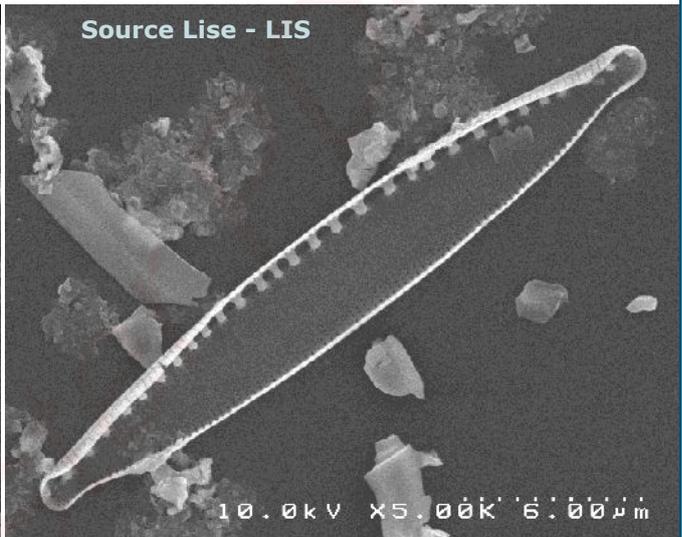
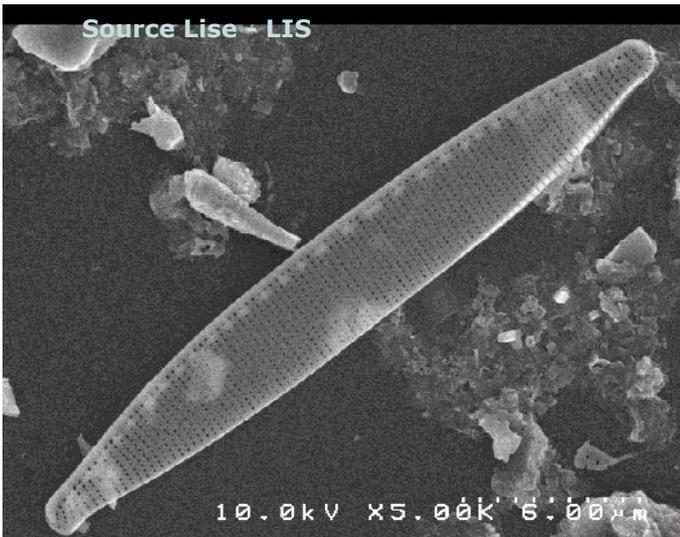
Crea

***Nitzschia palea* forme 2 (NP02)**



10µm

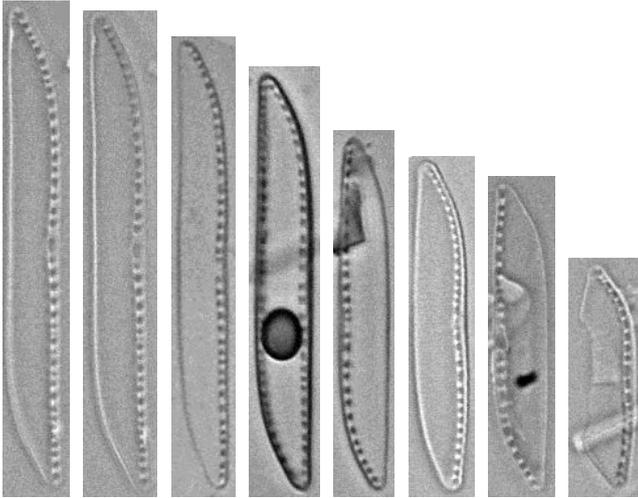
Source Lise - LIS



NITZSCHIA

Created in Mac

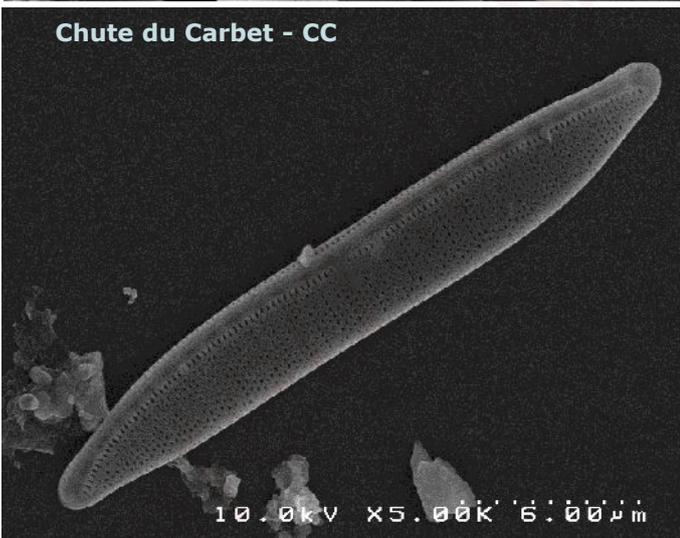
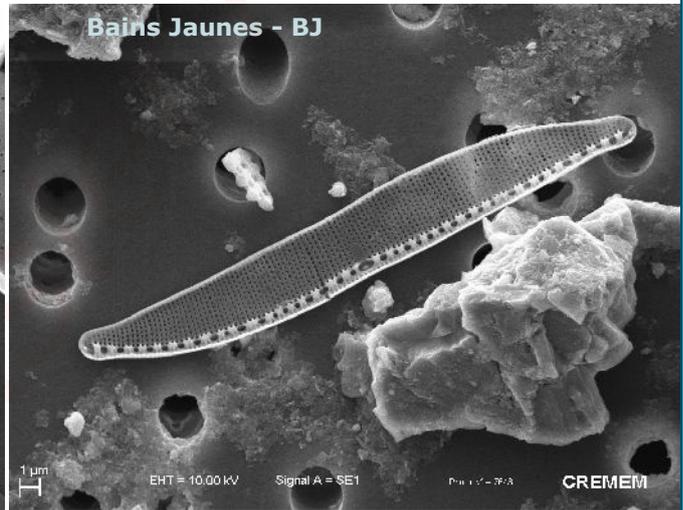
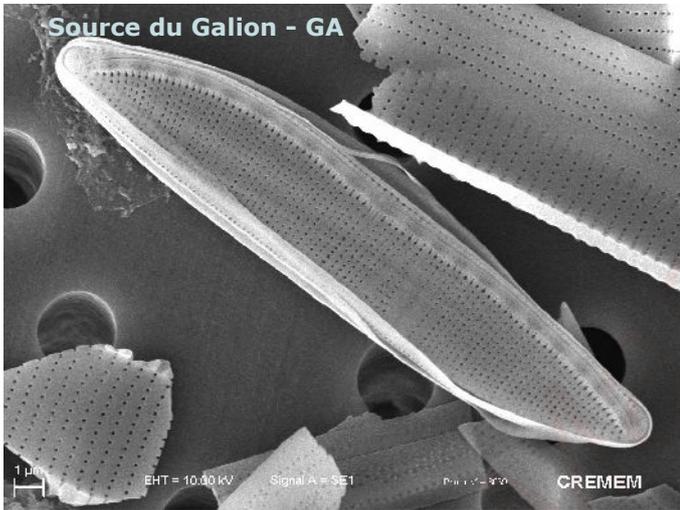
***Nitzschia scalpelliformis* (NISC)**



Source du Galion - GA

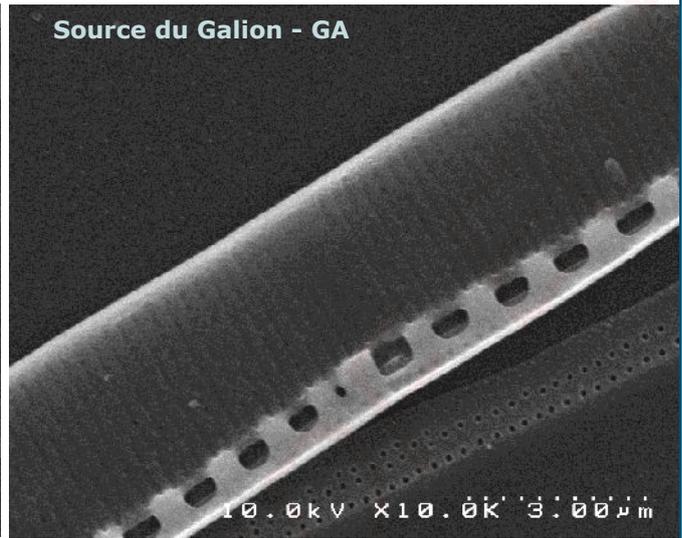
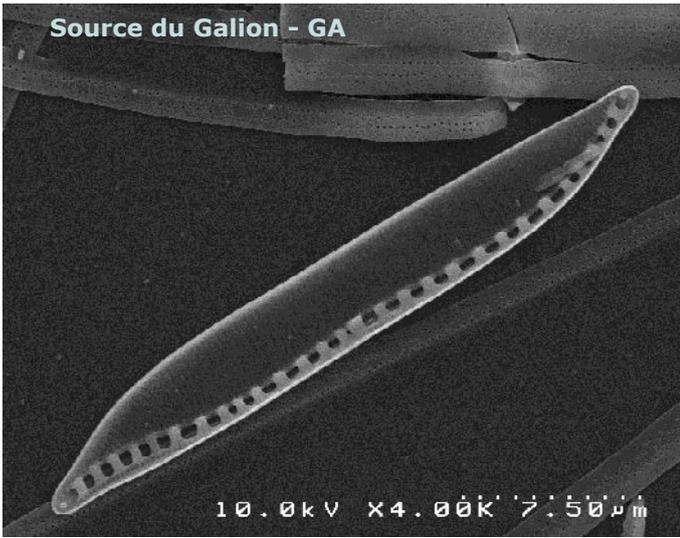
10µm

NITZSCHIA



***Nitzschia scalpelliformis* (NISC)**

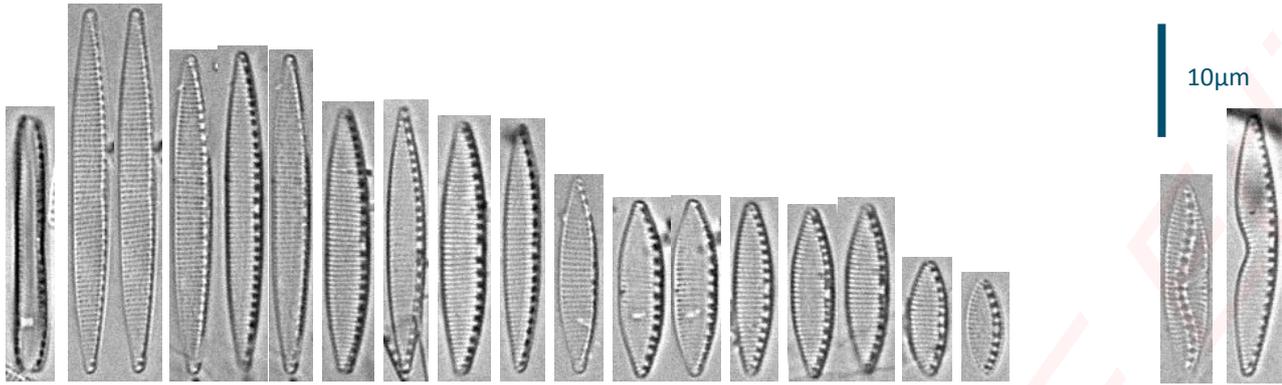
NITZSCHIA



Created in Master PL

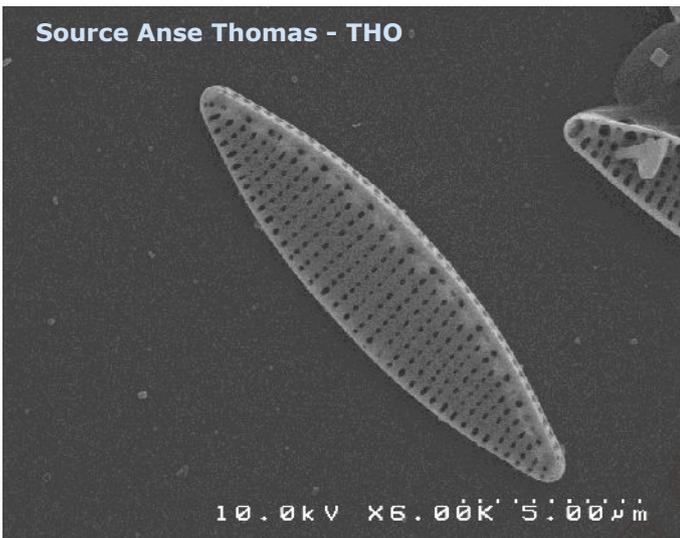
Nitzschia* sp44 (NI44) cf. *N. frustulum

NITZSCHIA

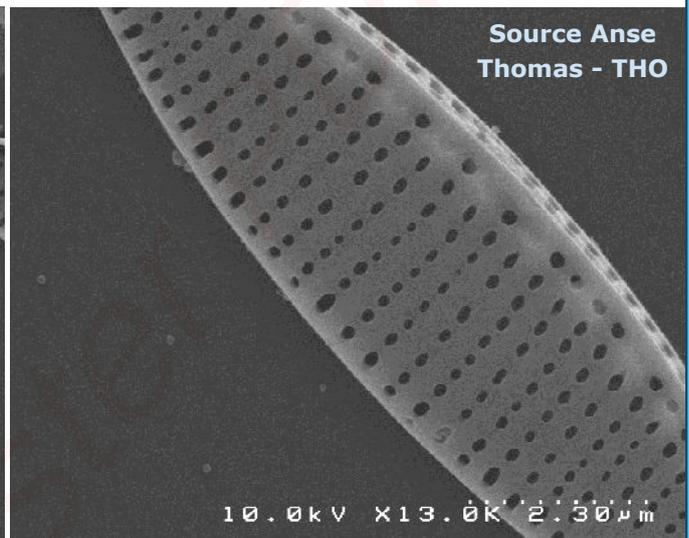


Source Anse Thomas - THO

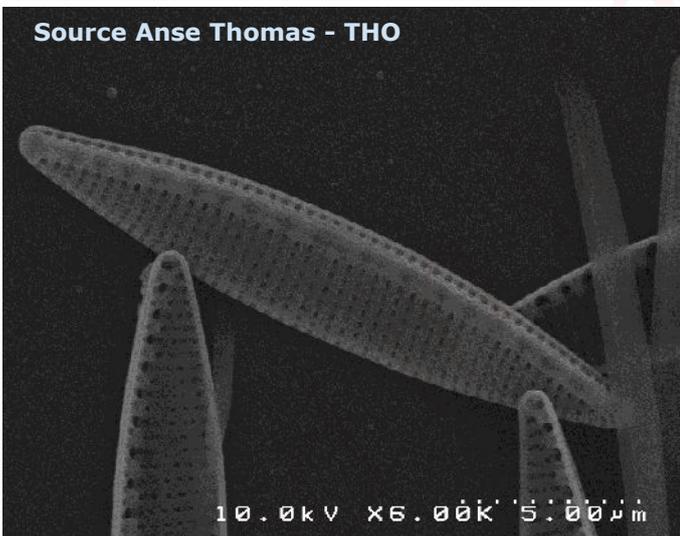
Valves déformées



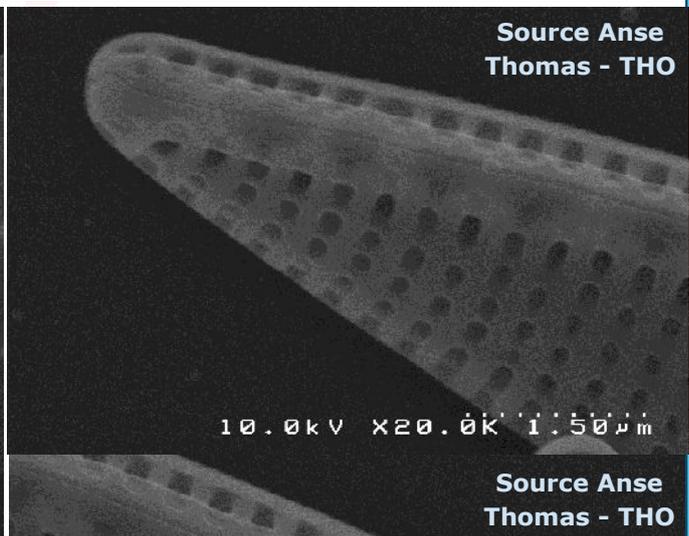
Source Anse Thomas - THO



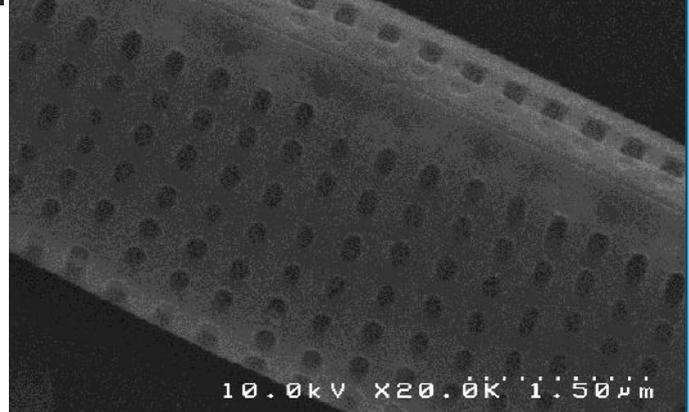
Source Anse Thomas - THO



Source Anse Thomas - THO



Source Anse Thomas - THO

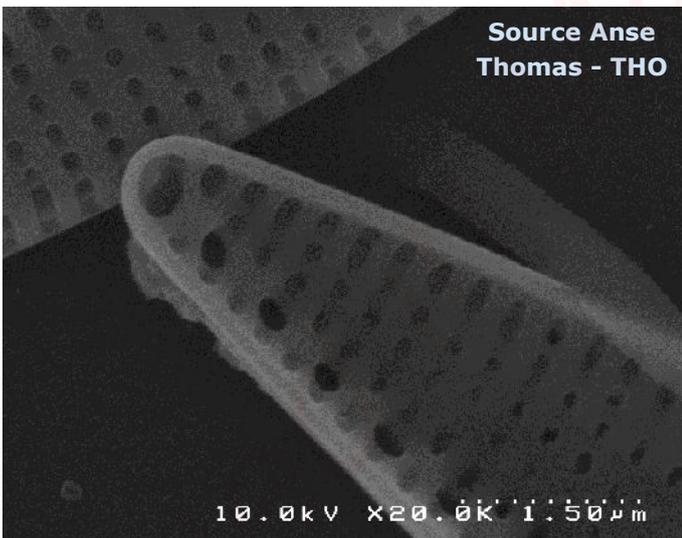
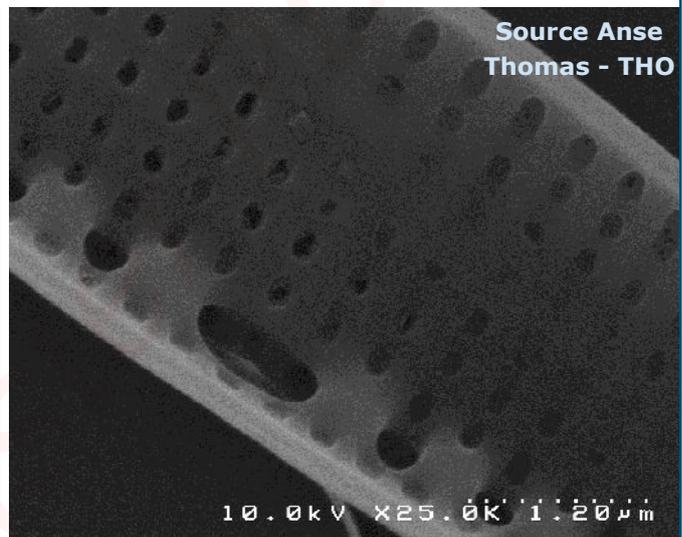
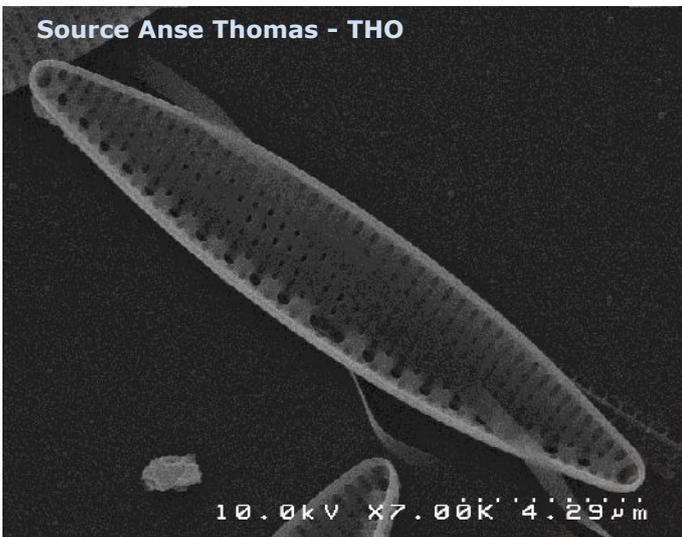
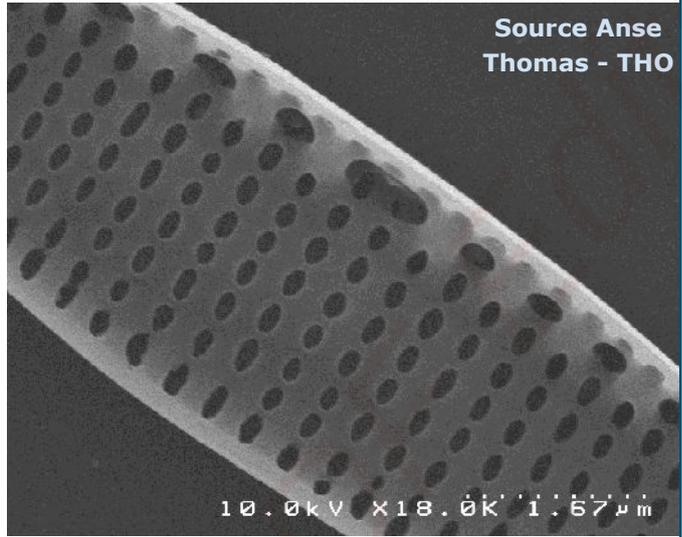
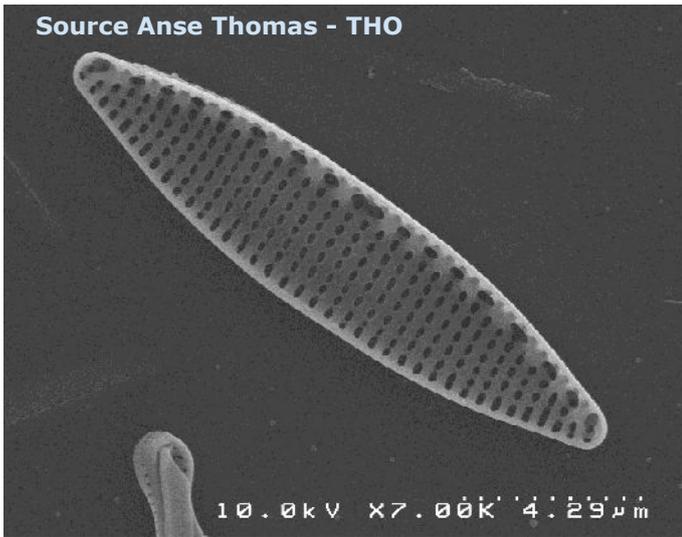


Source Anse Thomas - THO

Create

Nitzschia* sp44 (NI44) cf. *N. frustulum

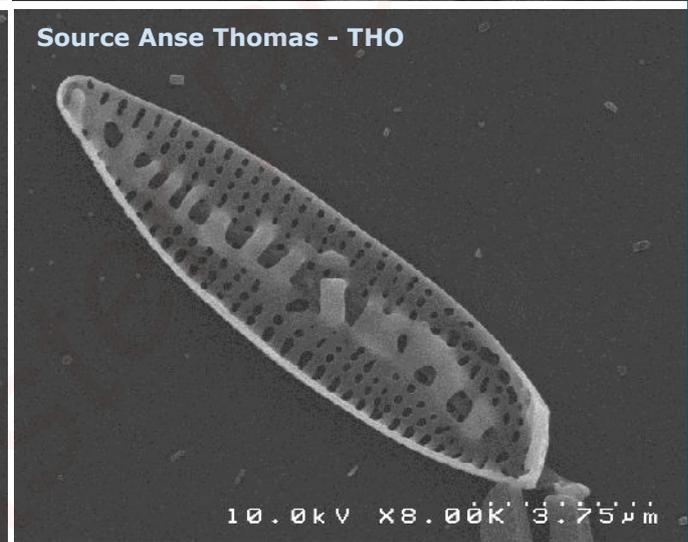
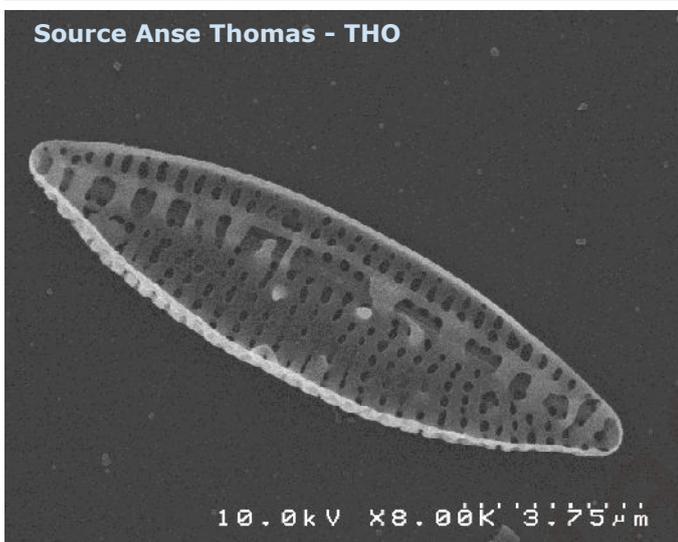
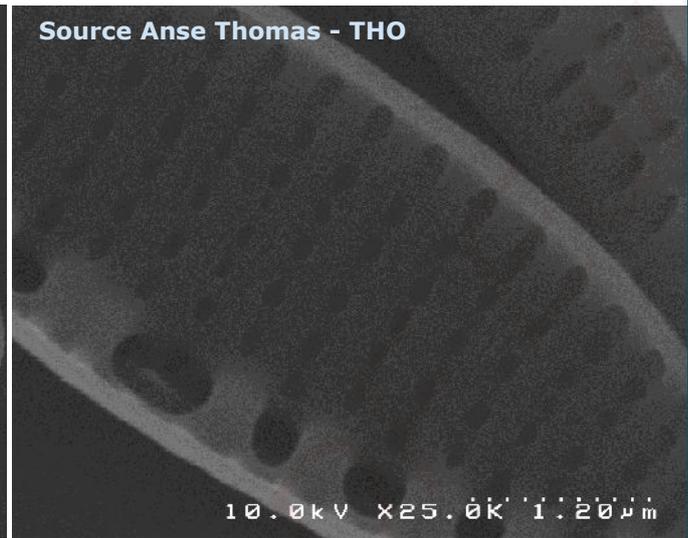
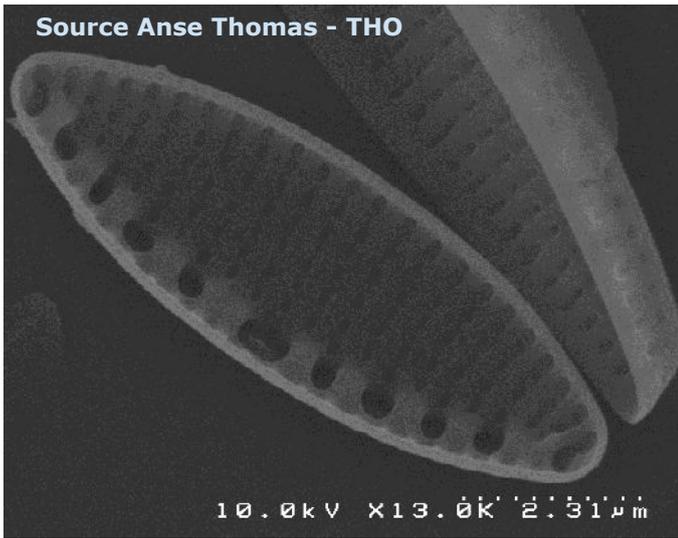
NITZSCHIA



Created

Nitzschia* sp44 (NI44) cf. *N. frustulum

NITZSCHIA



Created in Micro

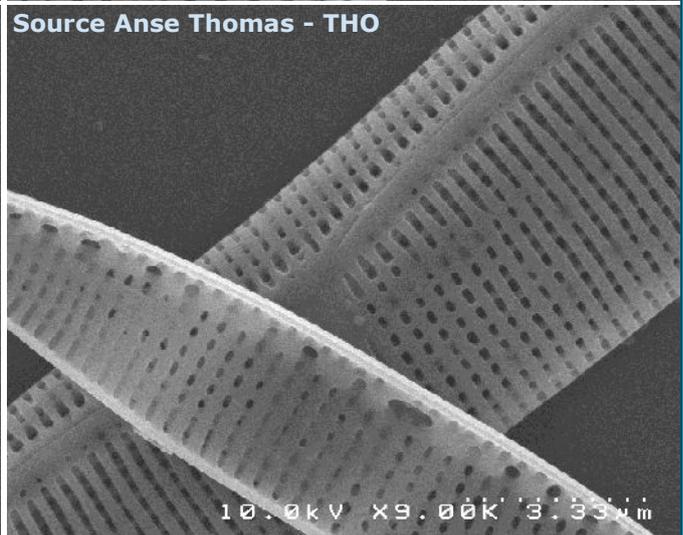
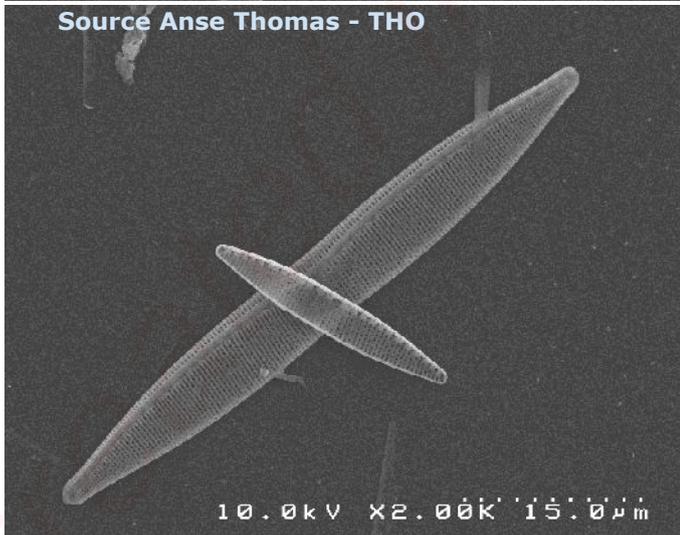
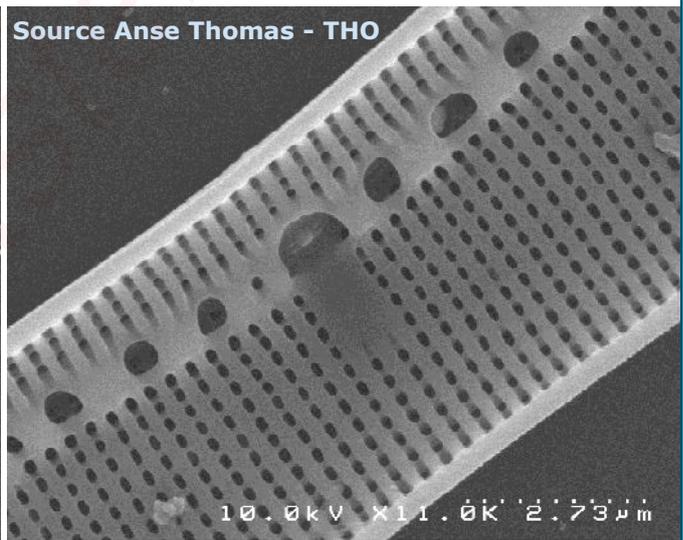
***Nitzschia cf. filiformis* (NFIL)**



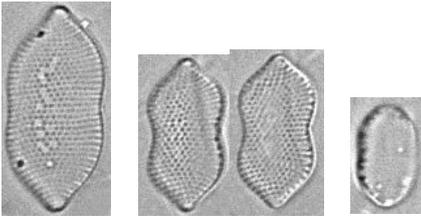
10µm

Source Anse Thomas - THO

NITZSCHIA

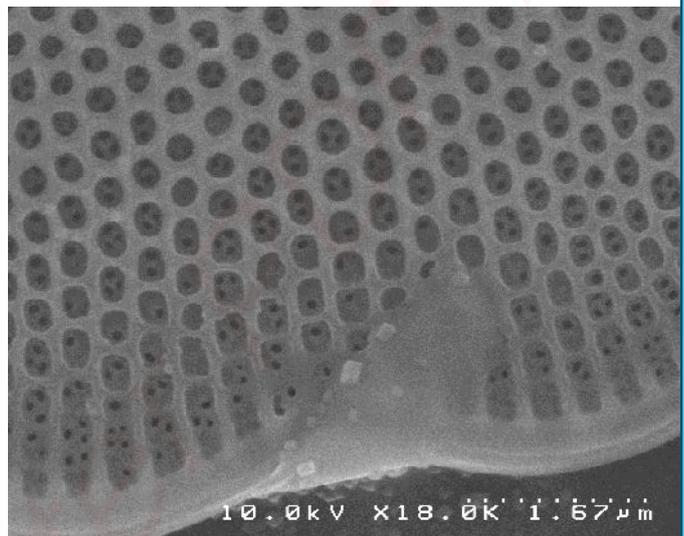
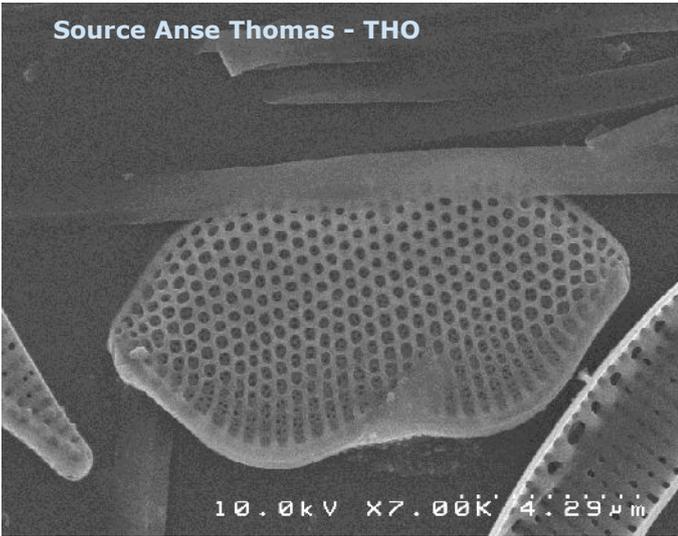


***Nitzschia ruda* (NRDA)**



10µm

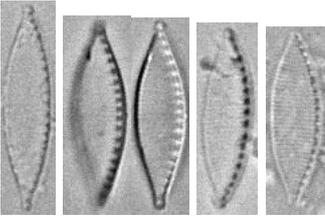
Source Anse Thomas - THO



NITZSCHIA

Created in Masti

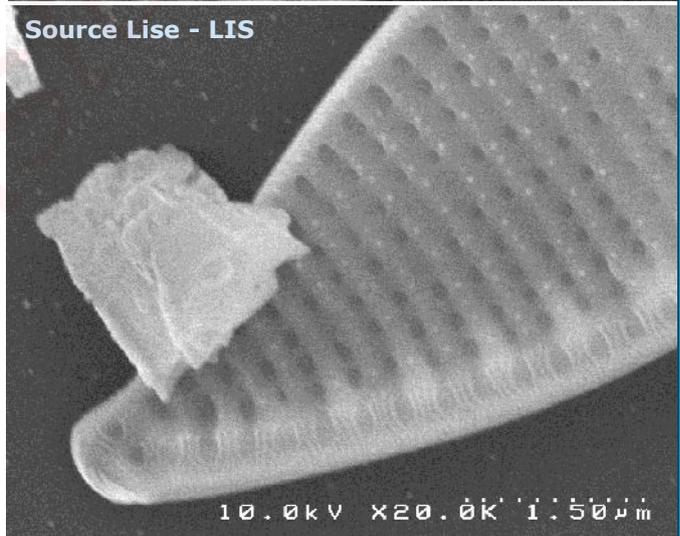
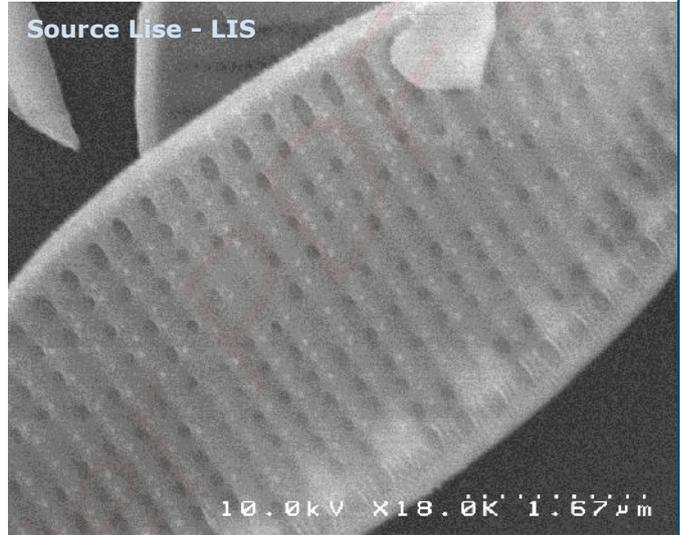
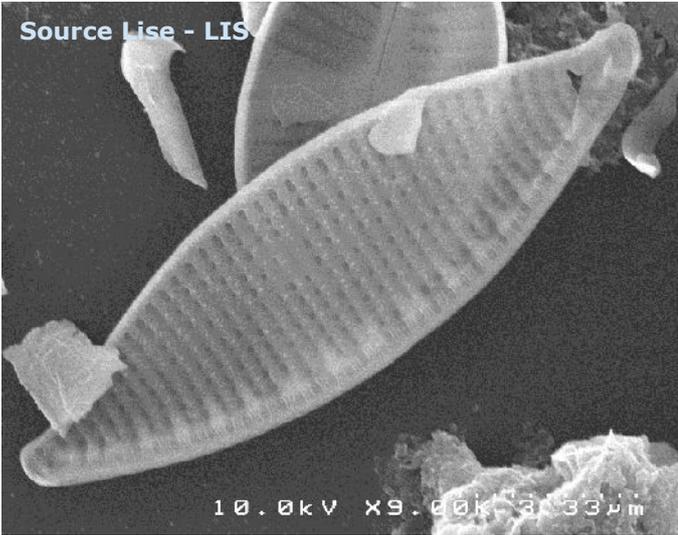
***Nitzschia* sp63 (NI63)**



Source Lise - LIS

10µm

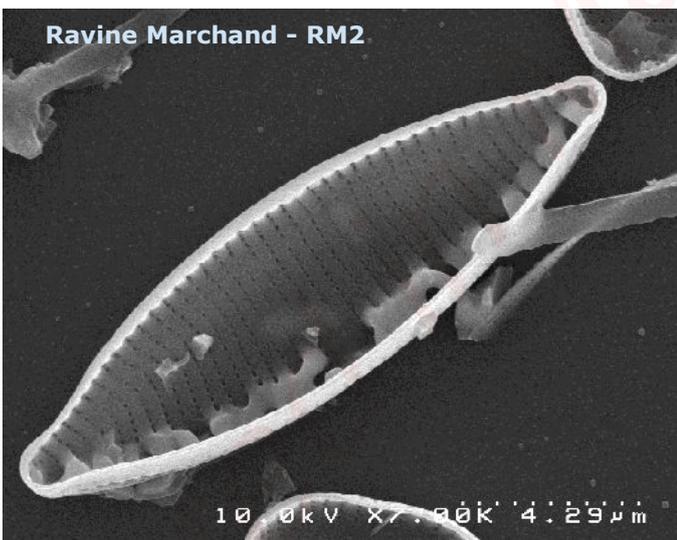
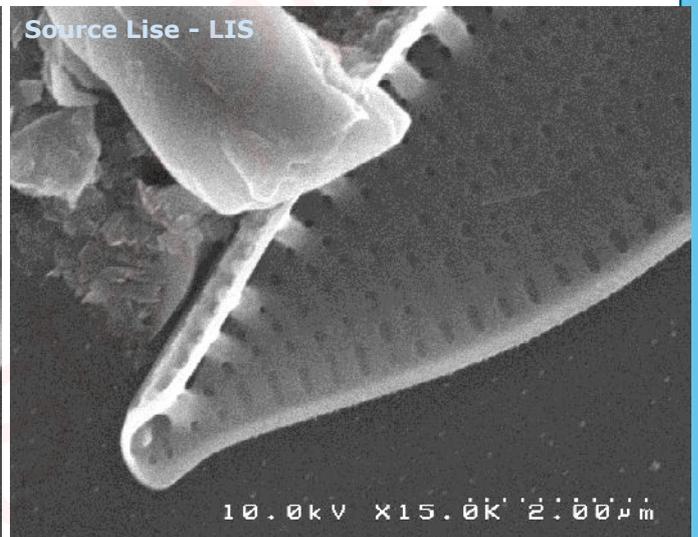
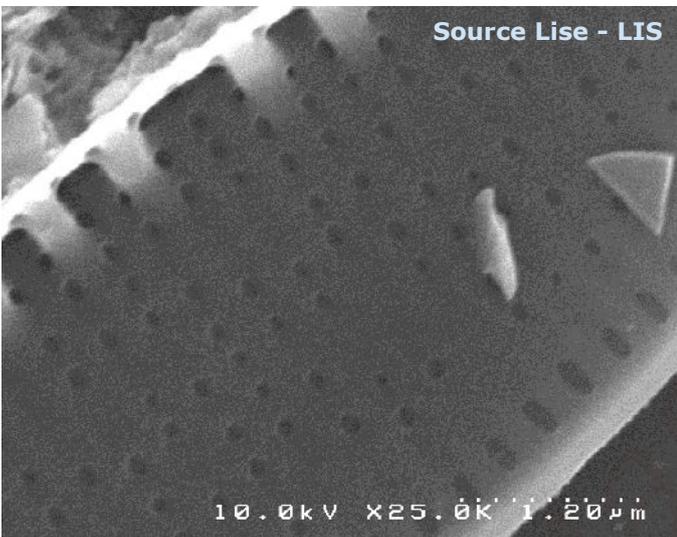
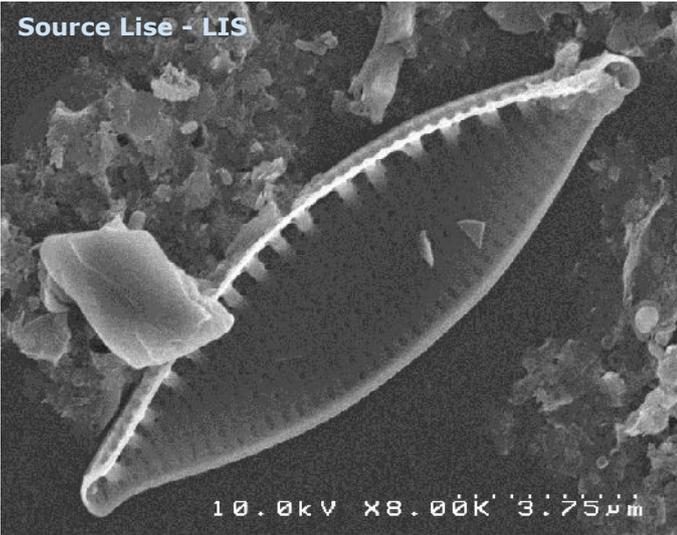
NITZSCHIA



Created in MacroEditor

***Nitzschia* sp63 (NI463)**

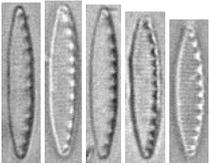
NITZSCHIA



Creat

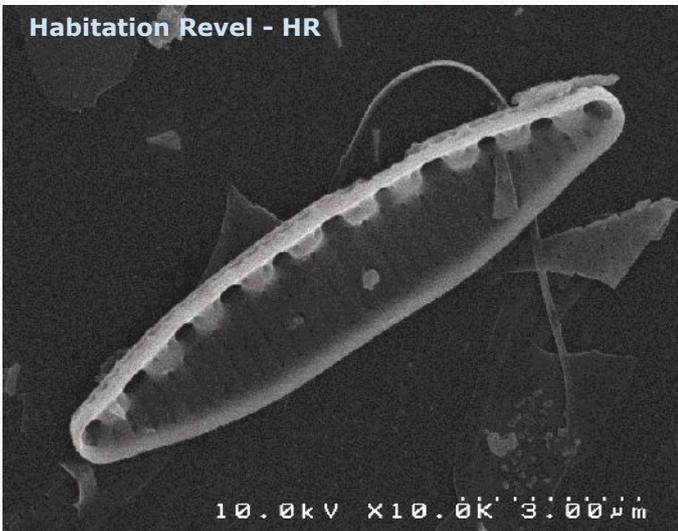
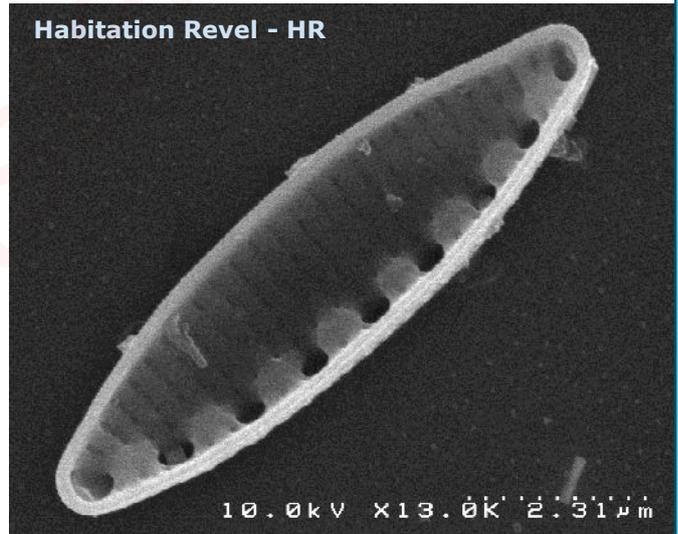
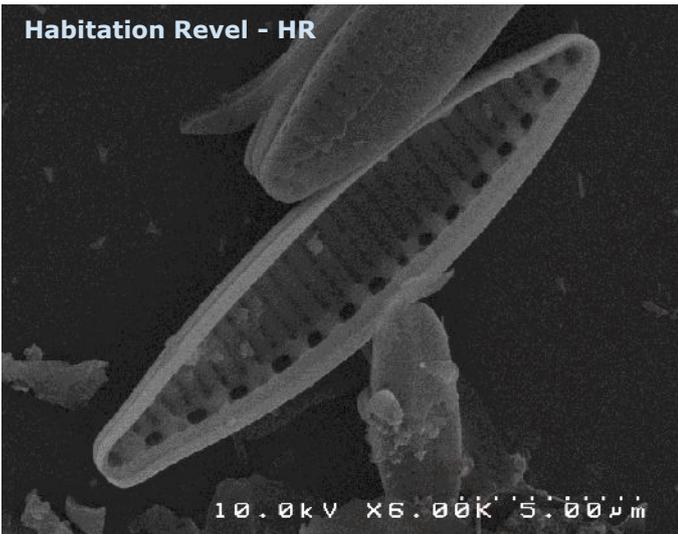
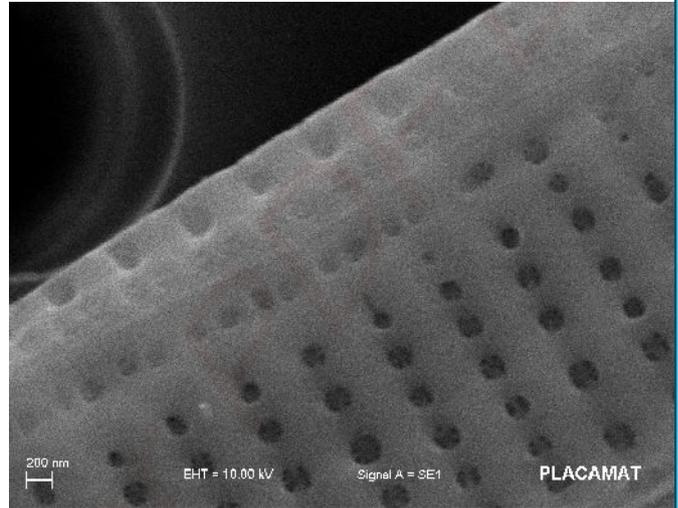
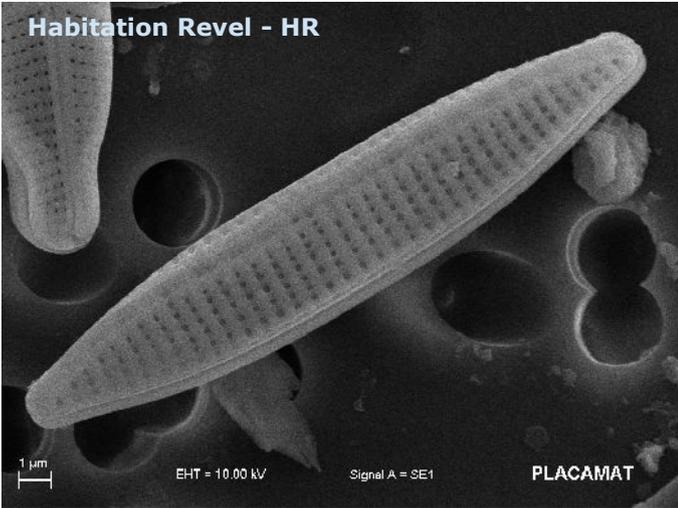
PDF Editor

Nitzschia sp81 (NI81)



10µm

Habitation Level - HR



NITZSCHIA

***Nitzschia* sp82 (NI82)**



Chute du Carbet - CC

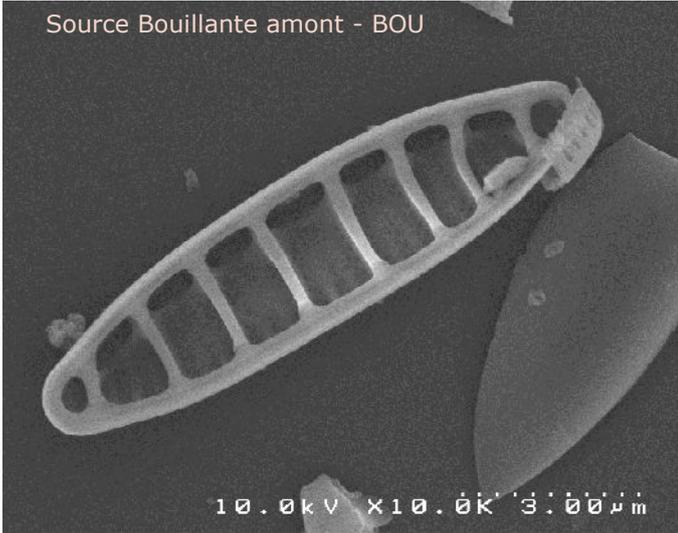
10µm

NITZSCHIA

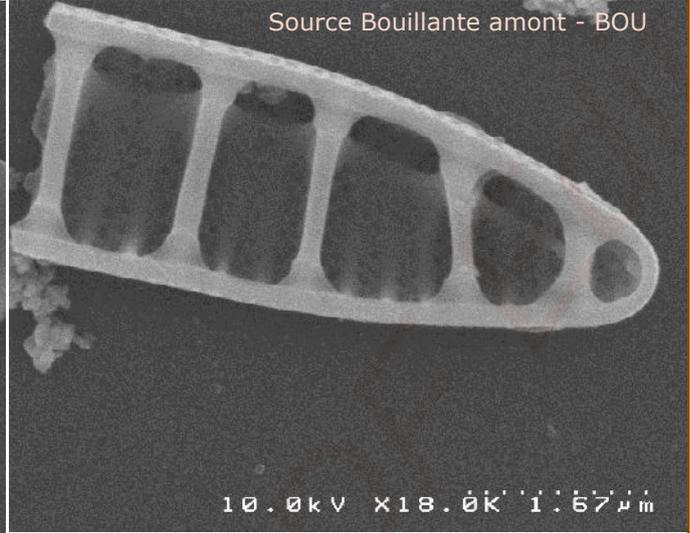
Created in Master PDF Editor

***Denticula sundayensis* (DSUN)**

Source Bouillante amont - BOU



Source Bouillante amont - BOU

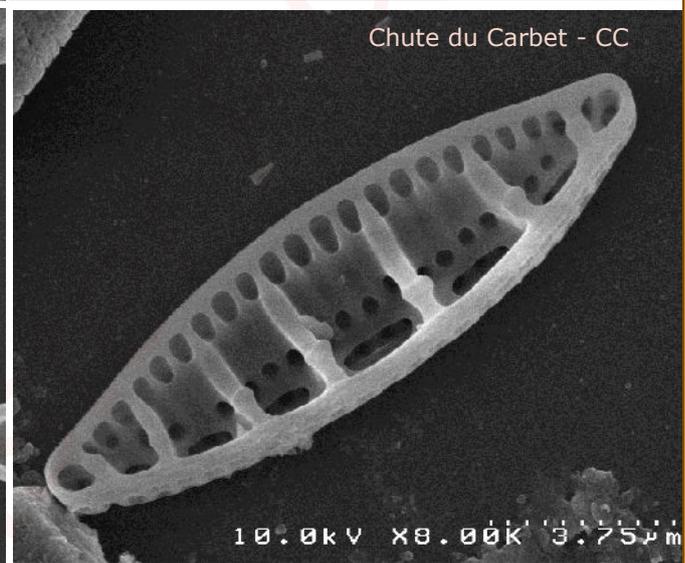
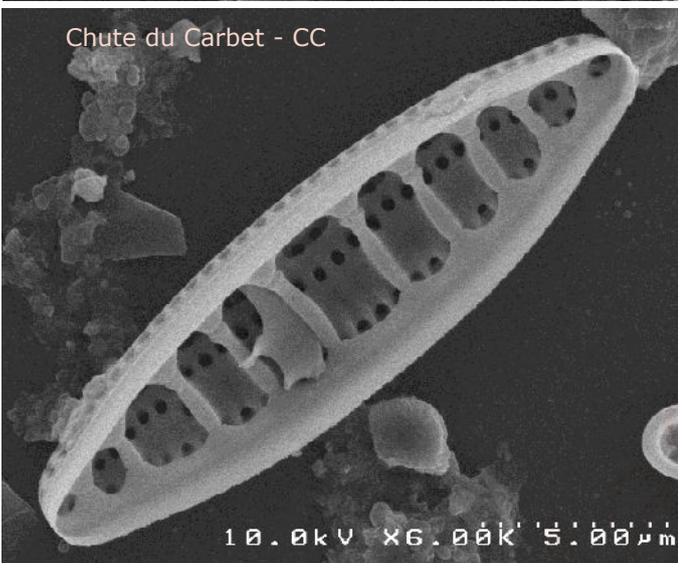
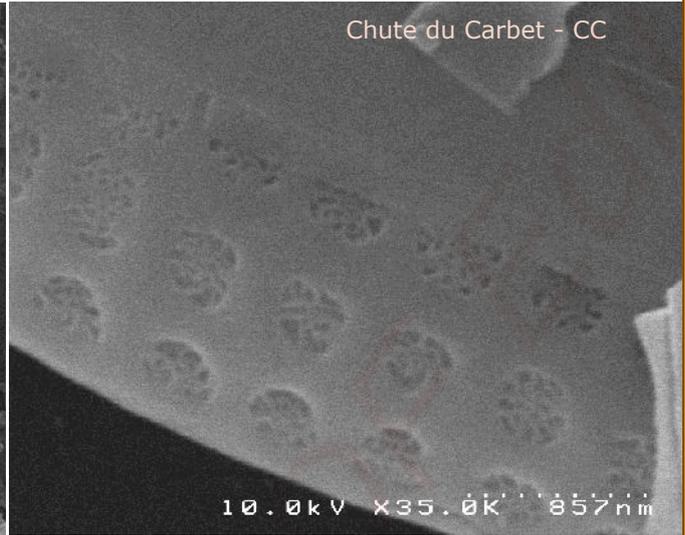
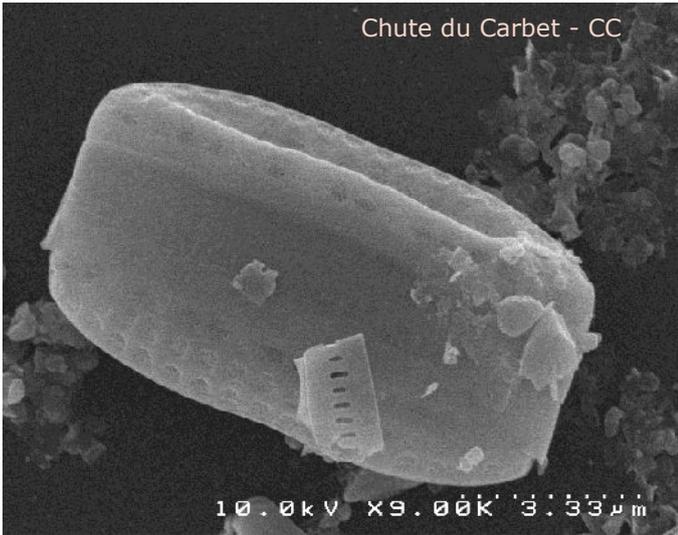


DENTICULA

Created in Master PL

Denticula sp1 (DEN1)

DENTICULA



Created in MicroStation