

DIAGNOSE DES DOLINES



Equipe de projet

Coordination scientifique : J.F. Humbert



Coordination Locale : Y. Dominique



Aspects Hydrogéologiques

J. Jeanpert & P. Genthon



Aspects Physico-chimiques

J.F. Humbert, G. Lacroix, P. Genthon, N. Bargier et Y. Dominique



Aspects Biologiques

J.F. Humbert, G. Lacroix, A. Fare, N. Bargier et Y. Dominique



Aspects SIG

M. Vendé-Leclerc



↑
HYPERK
↓

Choix des dolines

Basé sur :

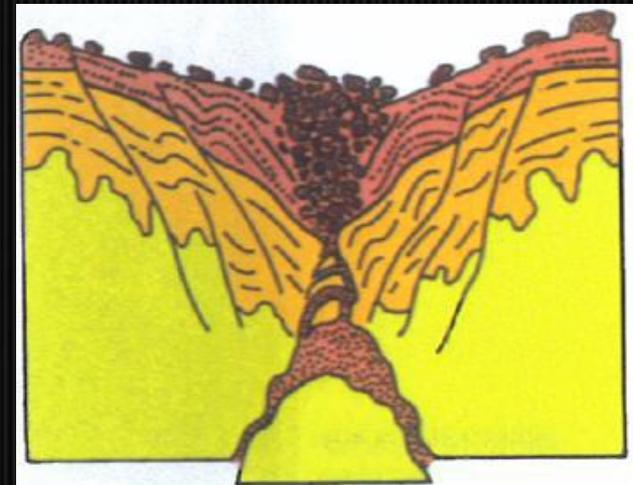
❖ Typologie des dolines proposée par l' équipe d' hydrogéologie (Sérino) :

- Doline d' effondrement (vidange « immédiate »)
- Doline en entonnoir
- Doline en cuvette

Objet atypique : Trou du Tahitien

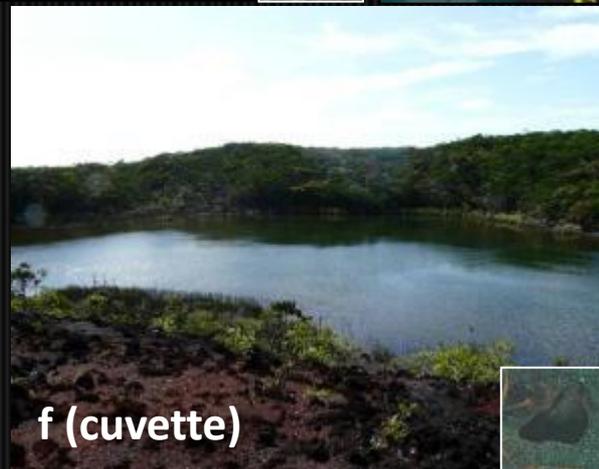
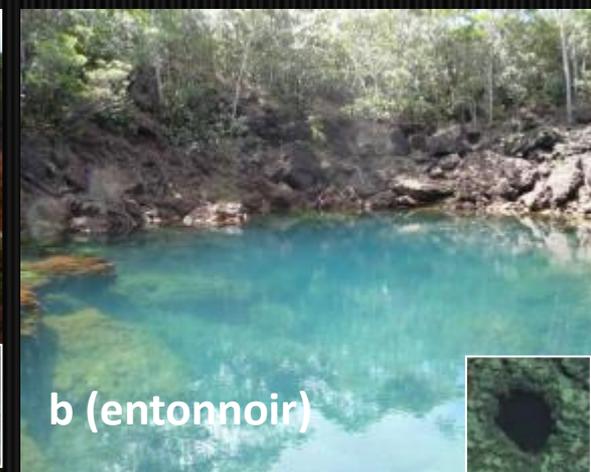
❖ Facilité d' accès pour embarcation

❖ Réseau de suivi hydrologique en place



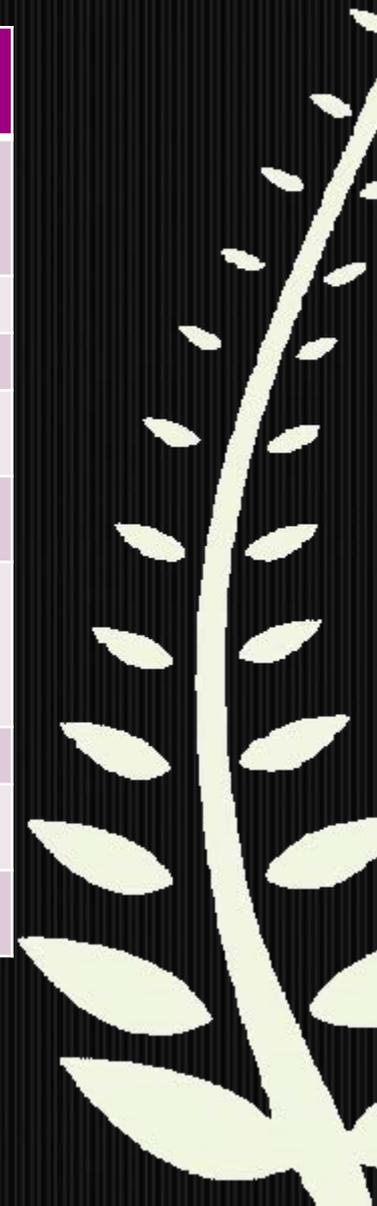
	Grenaille ferrifère sédimentée
	Latérites
	Sapolites

- a. Trou du Tahitien,
- b. doline bleue,
- c. doline marécage,
- d. doline croissant,
- e. doline lac,
- f. petite doline



Caractéristiques des dolines

	Trou du Tahitien	doline bleue	doline lac	petite doline	doline marécage	doline croissant
Coordonnées (WGS84)	166.95909/ -22.26952	166.95950/ -22.27306	166.98792/ -22.28642	166.99170/ -22.28742	166.94937/ -22.26116	166.95402/ -22.26307
Surface (m²)	12888	250	81900	4872	1050	1650
Profondeur max.(m)	35	6	1,5	1,5	1.1	6
Proximité actuelle de la zone minière (km)	2,4	2	1,5	1,4	3,8	3,5
Proximité de l' usine de traitement (km)	7,6	7,2	8,5	8,6	7,9	7,8
Substrat dominant	latérite fine	blocs de cuirasse	latérite fine et graviers de latérite	latérite fine et graviers de latérite	graviers de latérite	latérite fine et graviers de latérite
Biofilms	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Hydrophytes (% de recouvrement du fond)	-	20	5	5	5	60
Hélophytes (% de recouvrement du fond)	0	5	15	10	20	10



Planning

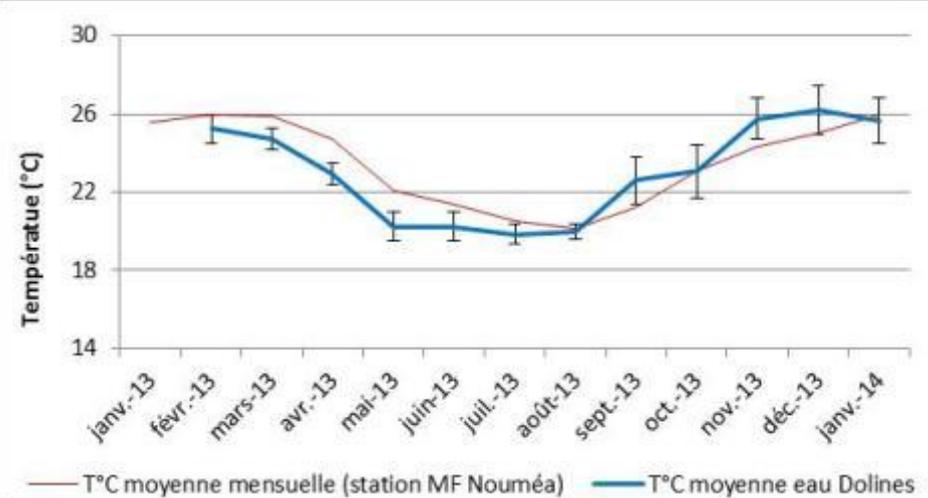
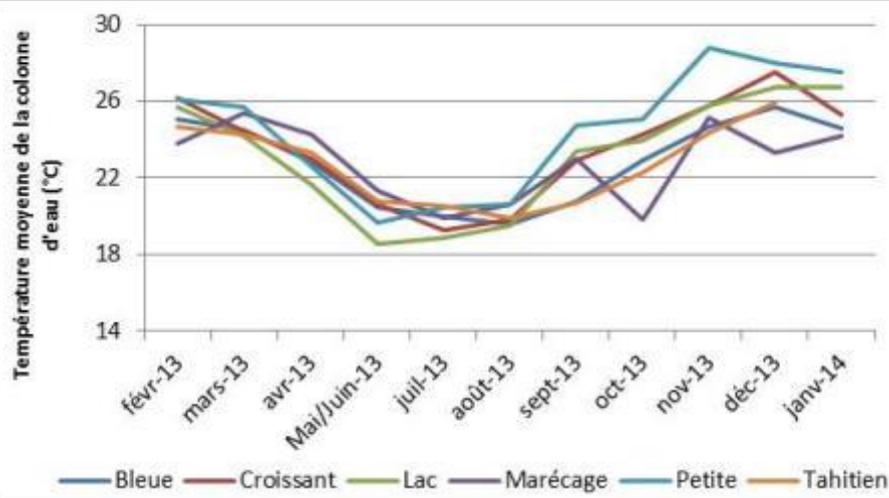
Date	PC in situ	Biologie	PC Labo eau	PC labo sédiment
Février 2013	X	X		
Mars	X	X		
Avril/Mai	X	X		
Juin	X	X		
Juillet	X	X	X	X
Août	X	X		
Septembre	X	X		
Octobre	X	X	X	
Novembre	X	X		
Décembre	X	X		
Janvier 2014	X	X		

❖ Pas de campagne encore réalisée fin 2014, doline à sec



Physico-chimie *in situ*

Température



❖ Homogénéité des températures au cours du temps



Physico-chimie *in situ*

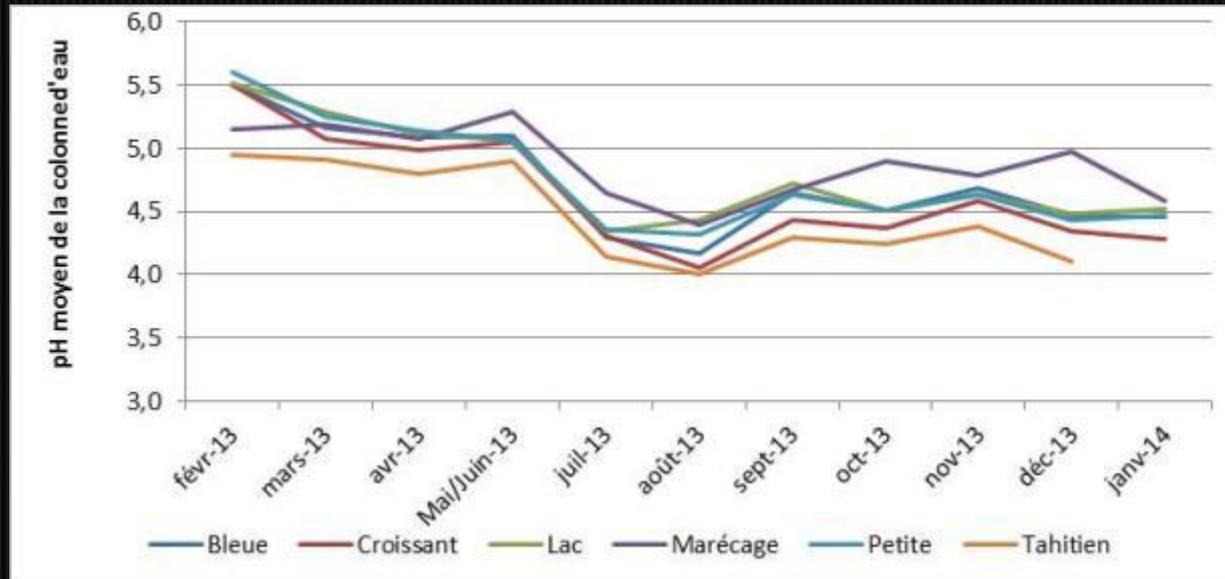
Profil température mensuel



❖ Aucune thermocline enregistrée au cours du suivi

Physico-chimie *in situ*

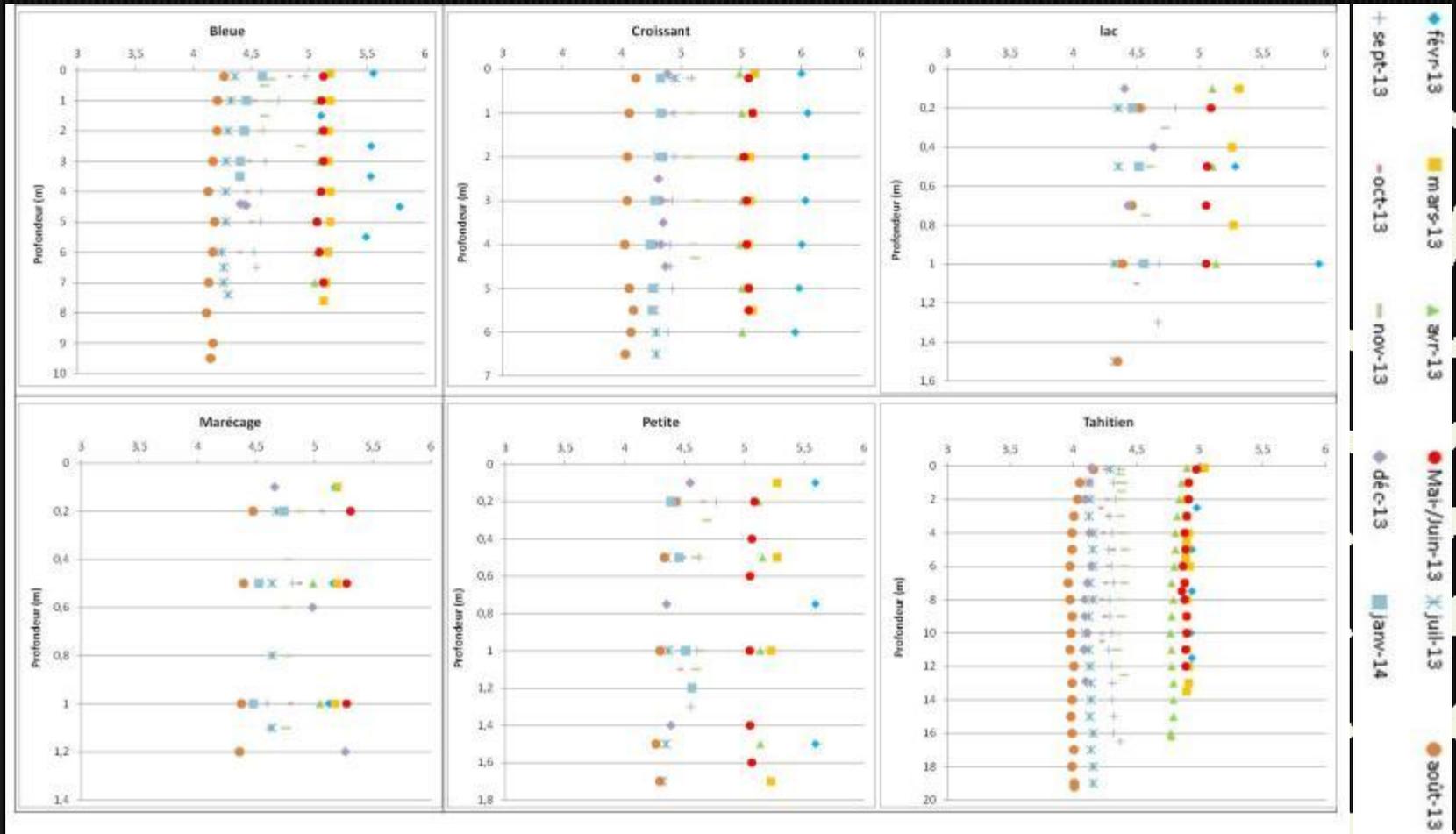
pH



- ❖ Milieux relativement acides - acidification maximale à la période hautes eaux (Juillet/Août),
- ❖ variations de pH faibles au cours du temps

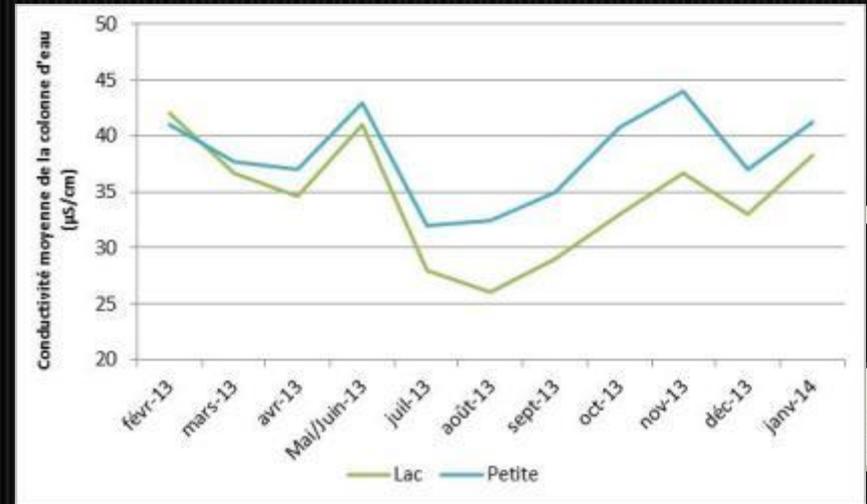
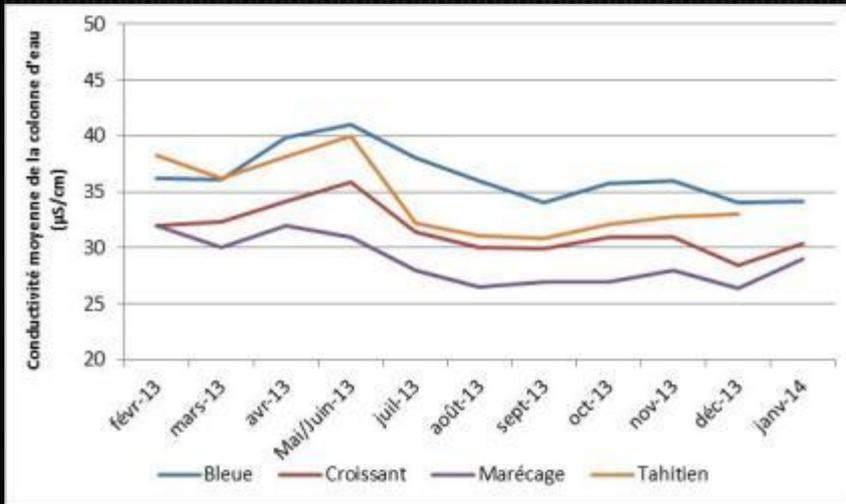
Physico-chimie *in situ*

Profil pH Mensuel



❖ Valeurs de pH stable dans la colonne d'eau

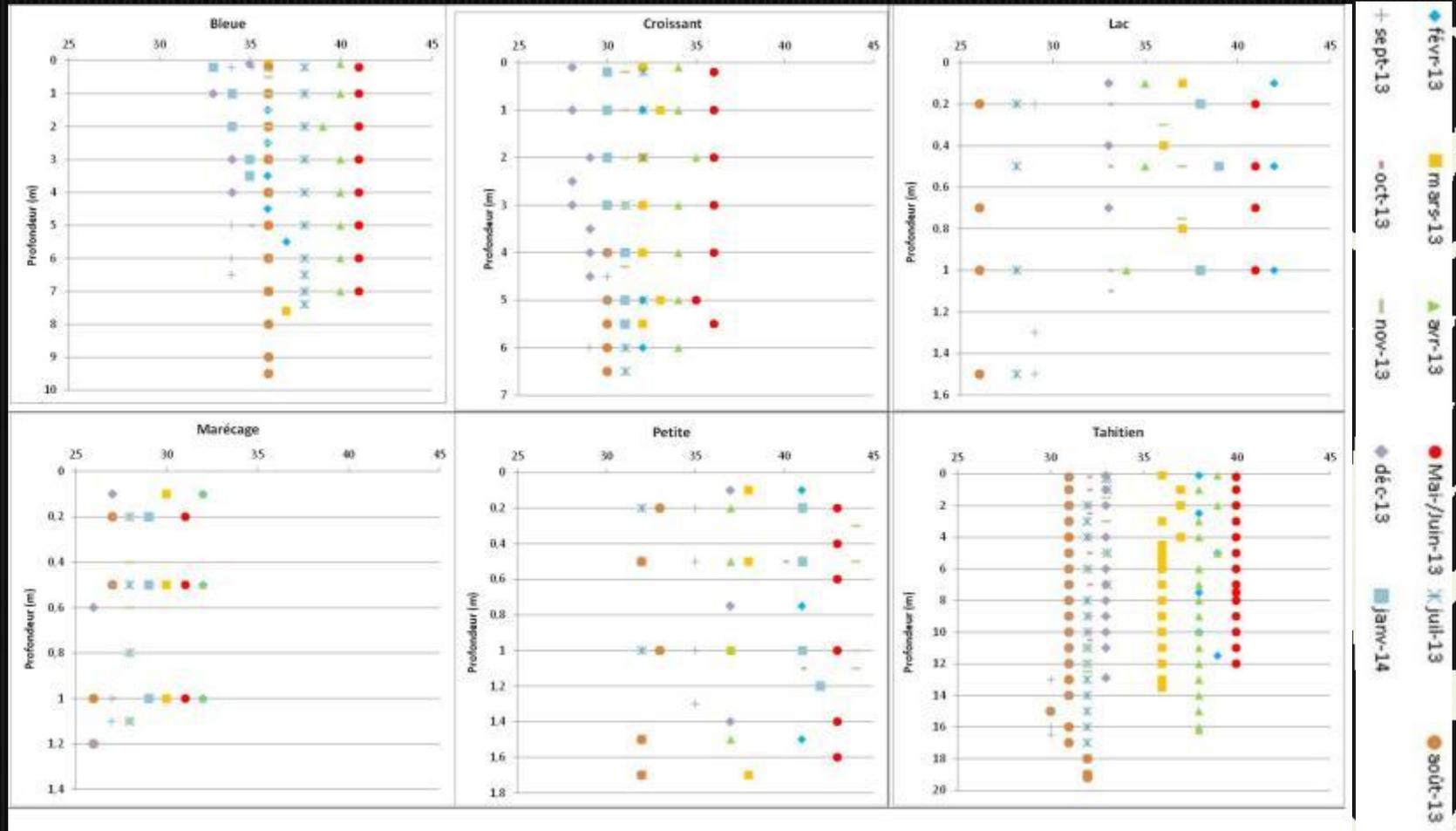
Conductivité



- ❖ Milieux peu minéralisés, avec des conductivités entre 26 et 44 µS/cm.
- ❖ Fortes variations pour deux dolines à priori déconnectées des écoulements souterrains (petite (En) et lac (cu))

Physico-chimie *in situ*

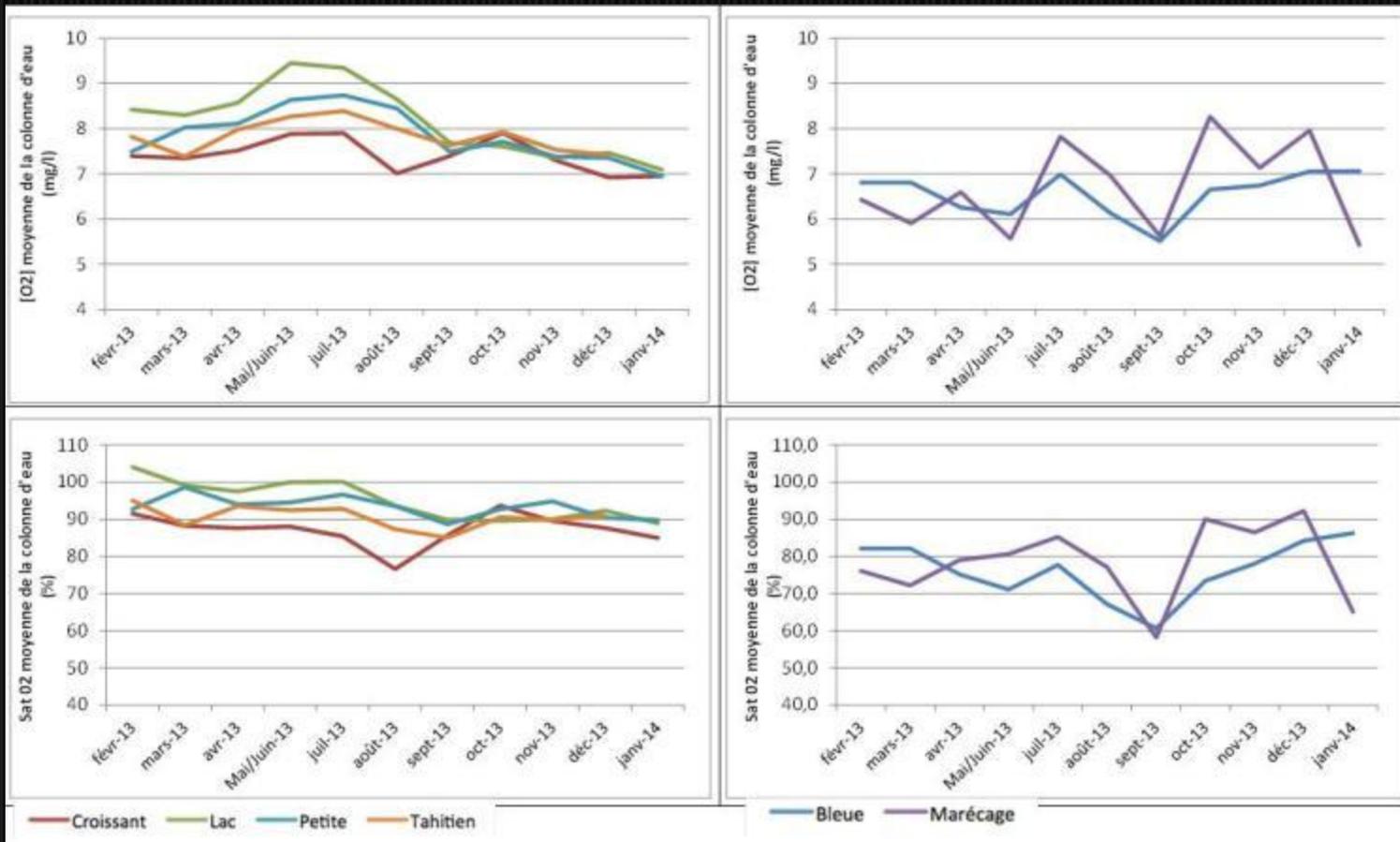
Profil conductivité mensuel



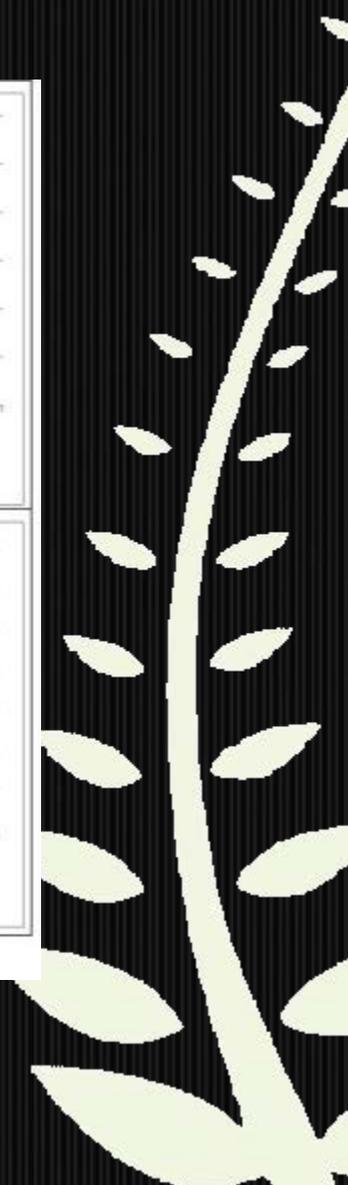
- ❖ l'absence de chémocline : la conductivité reste stable sur toute la colonne d'eau

Physico-chimie *in situ*

Concentration et saturation en oxygène

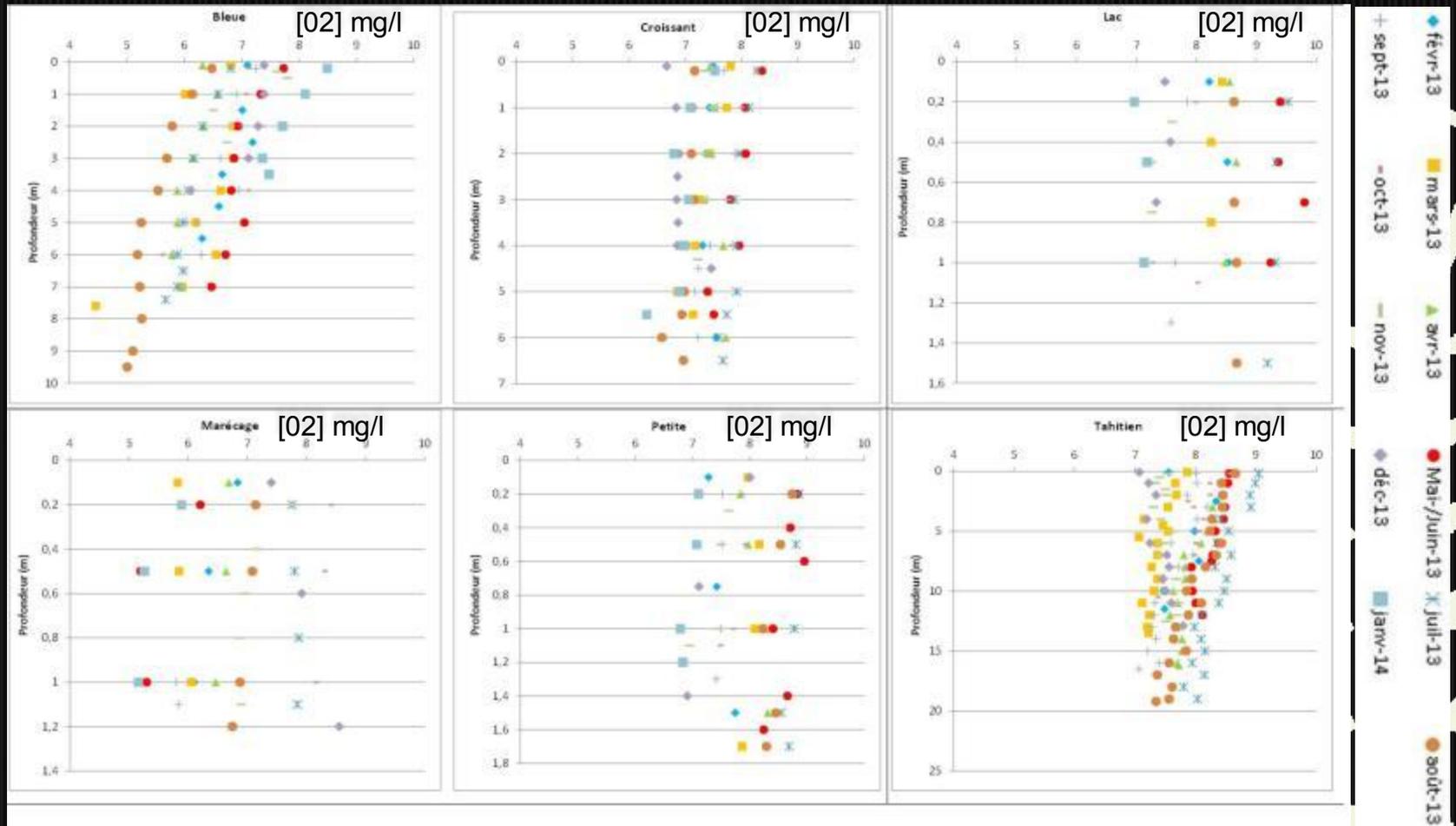


- ❖ Milieux bien oxygénés (saturation > 85%)
- ❖ Oxygénation plus faible de l'eau sur dolines bleue et marécage



Physico-chimie *in situ*

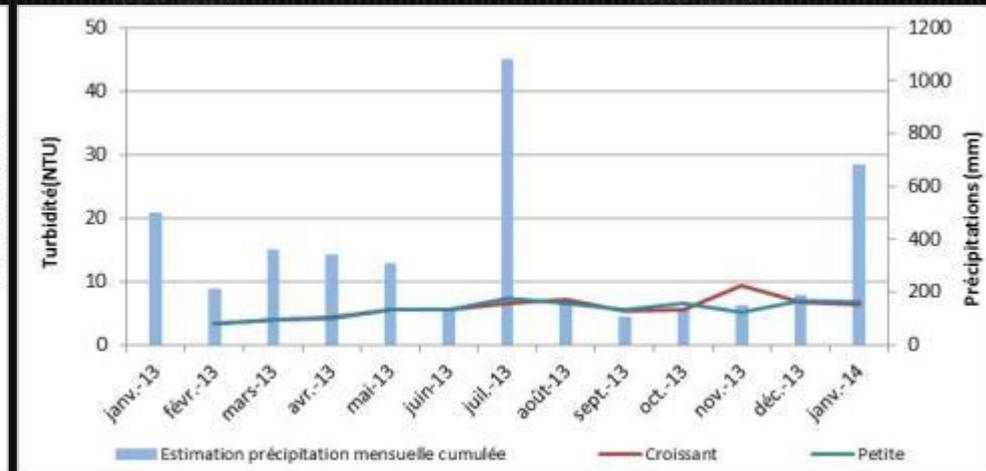
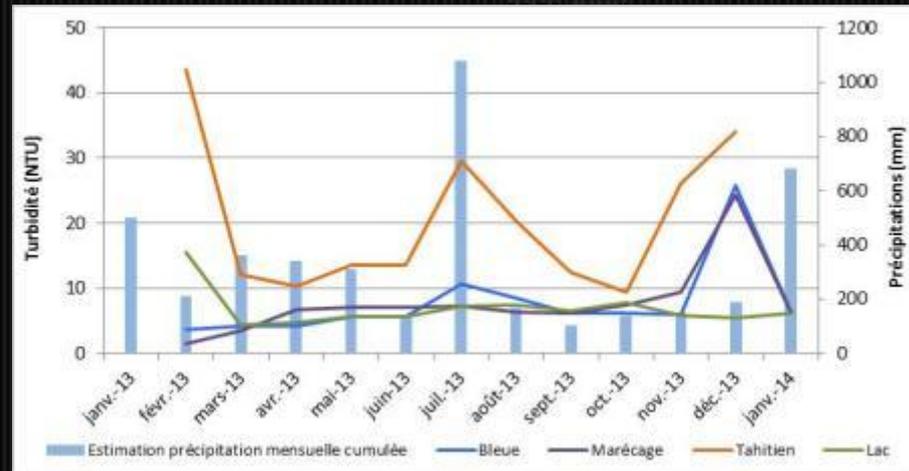
Profil concentration en oxygène



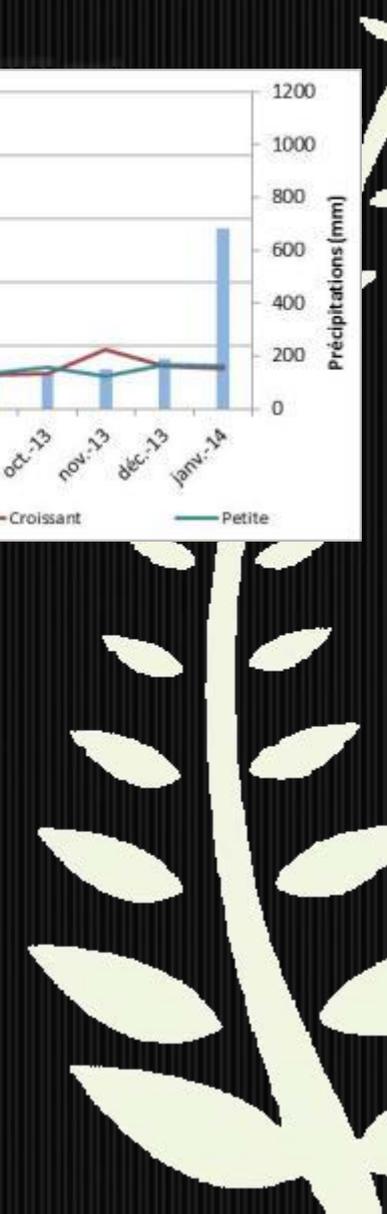
- ❖ Pas d'oxycline, légère diminution [O2] avec la profondeur (Bleue et Tahitien)

Physico-chimie *in situ*

Turbidité



- ❖ L' eau des dolines limpide généralement inférieure à 7 NTU,
- ❖ excepté au droit du Trou du Tahitien, comprises entre 10 et 43,5 NTU et une eau trouble et verte,
- ❖ 3 pics de turbidité : Fév. /Juill./Déc. 2013,
- ❖ La turbidité varie peu avec la profondeur.



Conclusion physico-chimie *in situ*

Les dolines du Grand Sud sont des milieux :

- ❖ acides et peu minéralisés,
- ❖ peu turbides, présentant des eaux limpides et transparentes, excepté le Trou du Tahitien,
- ❖ globalement homogènes sur toute la colonne d' eau.



Ions majeurs

Deux campagnes de prélèvements d'eau réalisées en
Juillet et en Octobre 2013

Doline	Campagne	Cl	SO ₄	Si	Ca	Na	K	Mg
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Lac	juil-13	6,56	1,79	0,03	0,15	2,85	0,18	0,41
	oct-13	7,35	1,76	0,02	0,92	3,73	0,15	0,62
Petite	juil-13	7,17	1,53	0,04	0,16	3,78	0,17	0,48
	oct-13	10,22	2,05	0,03	0,11	4,71	0,18	0,67
Bleue	juil-13	8,27	1,81	0,06	0,21	3,92	0,17	0,73
	oct-13	8,40	1,25	0,04	0,16	3,73	0,13	0,75
Tahitien	juil-13	6,53	1,76	0,05	0,11	3,14	0,13	0,44
	oct-13	7,12	1,25	0,04	0,08	3,07	0,10	0,48
Croissant	juil-13	6,85	1,68	0,05	0,07	3,19	0,11	0,46
	oct-13	6,99	0,98	0,03	0,03	3,14	0,09	0,48
Marécage	juil-13	6,51	1,00	0,05	0,08	3,11	0,11	0,50
	oct-13	7,01	1,04	0,04	0,03	3,23	0,10	0,54
Moyenne	Juillet	6,98	1,59	0,05	0,13	3,33	0,15	0,50
	Octobre	7,85	1,39	0,03	0,22	3,60	0,13	0,59

- ❖ Milieux peu minéralisés → concentrations faibles en ions
- ❖ Teneurs en ions majeurs similaires entre dolines,
- ❖ Les faibles teneurs en Mg et Si
→ origine superficielle des eaux dans les dolines.



Doline	Campagne	NH ₄	NO _x	NO ₂	PO ₄	P
		mg/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	mg/l
Lac	juil-13	0,089	1,402	0,061	0,000	0,010
	oct-13	0,068	0,021	0,016	0,037	0,010
Petite	juil-13	0,334	0,866	0,033	0,287	0,001
	oct-13	0,208	0,000	0,000	0,017	0,001
Bleue	juil-13	0,234	18,204	0,089	0,145	0,005
	oct-13	0,392	12,544	0,030	0,016	0,004
Tahitien	juil-13	0,135	10,913	0,146	0,391	0,006
	oct-13	0,181	8,682	0,021	0,065	0,004
Croissant	juil-13	0,160	3,417	0,060	0,119	0,004
	oct-13	0,615	1,122	0,004	0,006	0,006
Marécage	juil-13	0,107	2,919	0,040	0,108	0,009
	oct-13	0,095	0,930	0,039	0,000	0,008

- ❖ faible concentration en éléments azotés et phosphorés
 → appauvrissement du milieu en élément nutritif, géologie des sols et faible décomposition de la matière organique.



Eléments métalliques

Doline	Campagne	Métaux lourds								
		Fe	Mn	Ni	Al	Cr	Zn	As	Ba	B
Lac	juil-13	0,07	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	-	-
	oct-13	0,04	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02
Petite	juil-13	0,06	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	-	-
	oct-13	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
Bleue	juil-13	0,10	0,01	0,02	0,03	0,01	0,04	0,01	-	-
	oct-13	0,01	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
Tahitien	juil-13	0,14	0,00	0,00	0,03	0,01	0,01	0,00	-	-
	oct-13	0,07	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Croissant	juil-13	0,02	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	-	-
	oct-13	0,02	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
Marécage	juil-13	0,03	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	-	-
	oct-13	0,05	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01

❖ faible concentration en éléments métalliques.



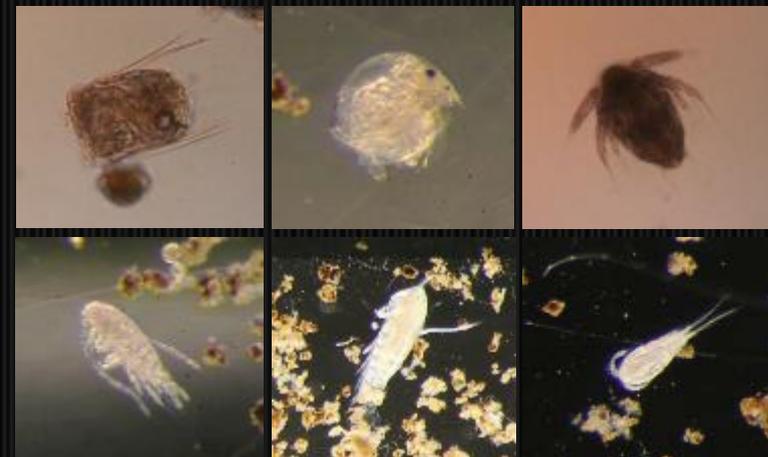
Le zooplancton

❖ **Abondance :**
Extrêmement faible (< 11 ind. L⁻¹)

❖ **Structure des communautés**
Zooplanctoniques

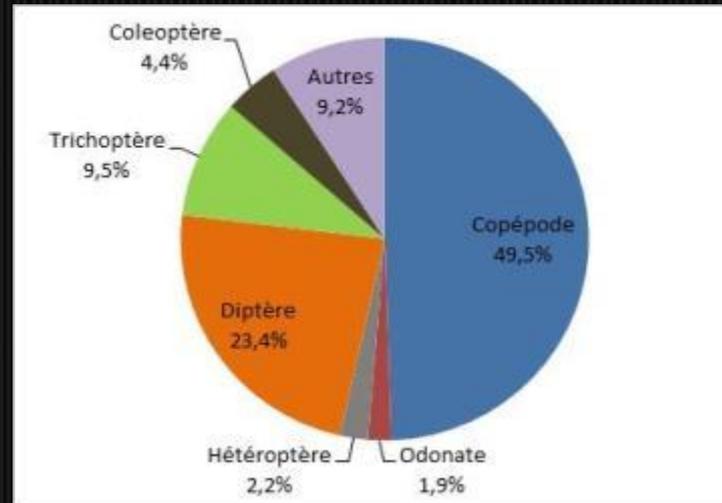
➔ **Dominance des détritivores ou omnivores et absence de filtreurs, réseaux trophiques est fortement basé sur les débris et sur les biofilms.**

Doline	Petite doline	Doline bleue	Doline croissant	Trou du tahitien	Doline marécage	Doline Lac
Total Rotifera Ind.m ⁻³ (%)	538,19 (16,85 %)	577,14 (5,56 %)	367,28 (13,02 %)	336,42 (12,98 %)	225,31 (13,82 %)	666,67 (6,74 %)
Trichocerca sp.	45,14	506,17	104,94	12,33	21,61	20,83
Macrochaetus sp.	0	0	33,94	0	0	0
Keratella sp. (type cochlearis)	97,22	24,69	154,33	172,83	101,86	277,78
Keratella sp. (type quadrata)	55,56	27,78	30,86	77,17	37,03	149,31
Lecane sp.	6,94	12,33	33,94	18,53	24,69	38,19
Polyarthra sp.	326,39	6,17	0	3,08	9,25	156,25
Synchaeta sp.	0	0	0	27,78	3,08	0
Brachionus sp.	0	0	3,08	6,17	12,33	0
Rotifères indéterminés	6,94	0	6,17	18,53	15,44	24,31
Total Cladocera Ind.m ⁻³ (%)	20,83 (0,65 %)	172,83 (1,67 %)	200,61 (7,11 %)	71,00 (2,74 %)	175,92 (10,79 %)	27,77 (0,28 %)
Chydoridae	20,83	172,83	200,61	71,00	175,92	27,77
Total Copepoda Ind.m ⁻³ (%)	2635,42 (82,50 %)	9625,94 (92,77 %)	2253,06 (79,87 %)	2185,19 (84,29 %)	1229,64 (75,40 %)	9190,97 (92,98 %)
Cyclopoida	45,14	364,19	179,00	52,47	80,25	166,67
Calanoida	38,19	6712,97	1120,36	1851,86	126,56	48,61
Harpacticoida	3,47	5,56	0	0	6,17	3,47
Nauplii	2548,61	2543,22	953,69	280,86	1016,67	8972,22
Total zooplancton Individus.m ⁻³	3194	10376	2821	2593	1631	9885
Total zooplancton Individus. L ⁻¹	3,19	10,38	2,82	2,59	1,63	9,89



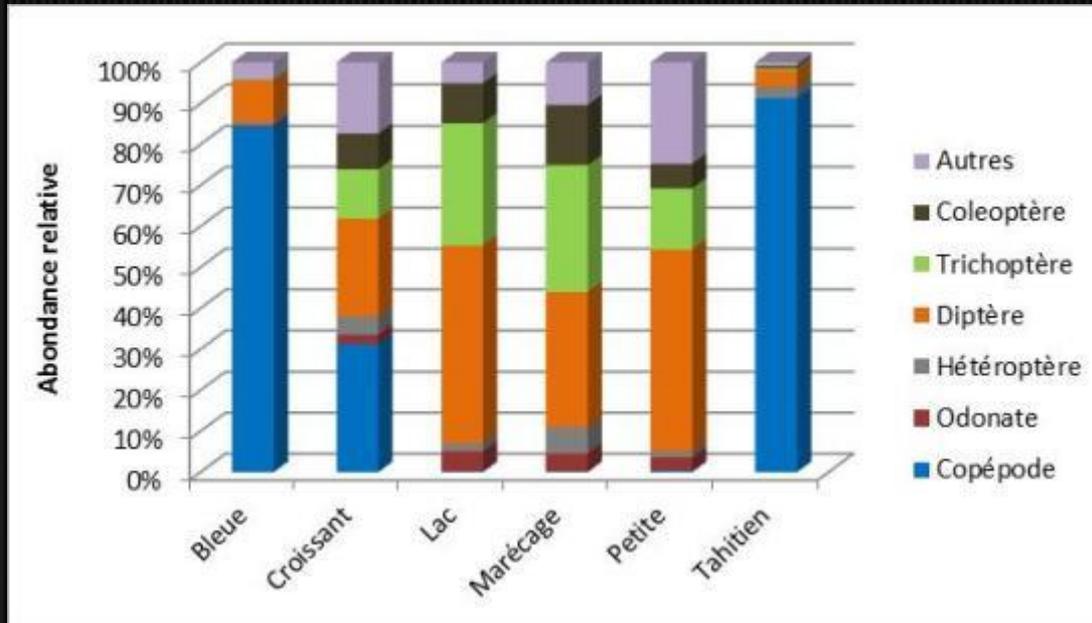
Les invertébrés benthiques

- ❖ Travaux de détermination encore en cours (déc. 2013/janv. 2014)
- ❖ Résultats sur 9 campagnes de prélèvements, 21000 ind. collectés, 57 *taxa*
→ La diversité biologique plus limitée qu' en milieu lotique
- ❖ Crustacés Copépodes et les Diptères dominent largement le peuplement benthique récolté au cours des neuf campagnes



Les invertébrés benthiques

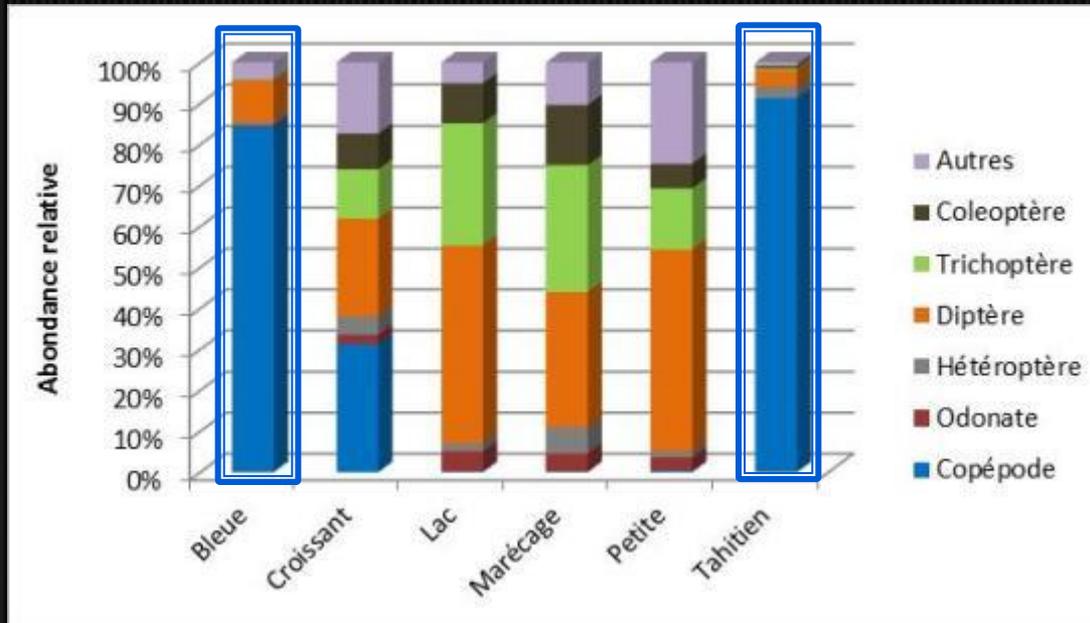
❖ Comparaison inter-dolines



Les invertébrés benthiques

❖ Comparaison inter-dolines

Milieu « minéral »



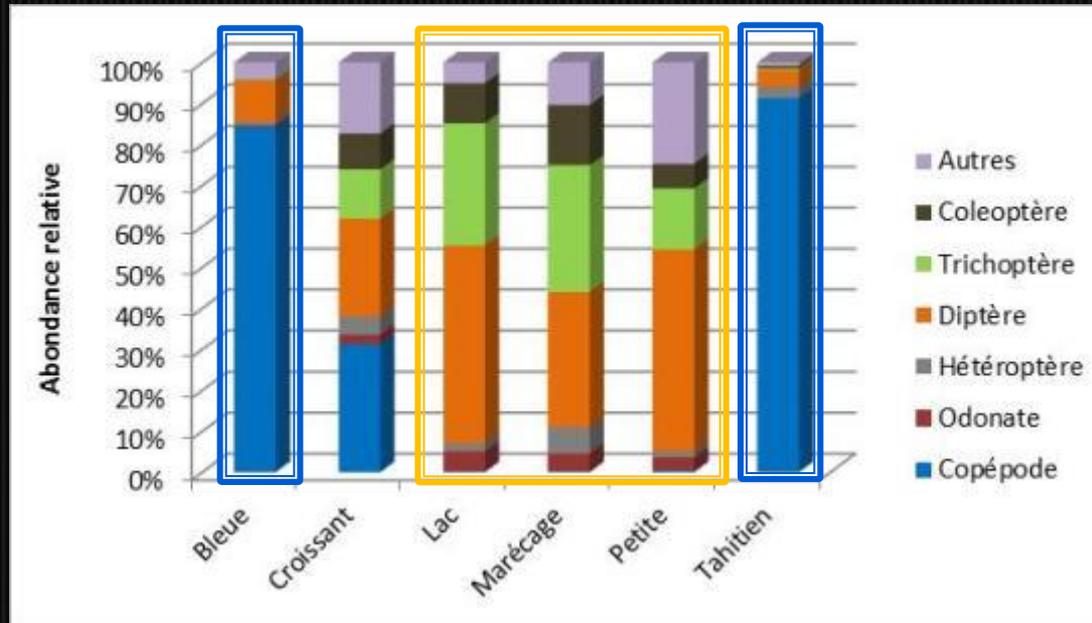
→ 3 structures de communauté selon les dolines



Les invertébrés benthiques

❖ Comparaison inter-dolines

Milieu « plus organique »



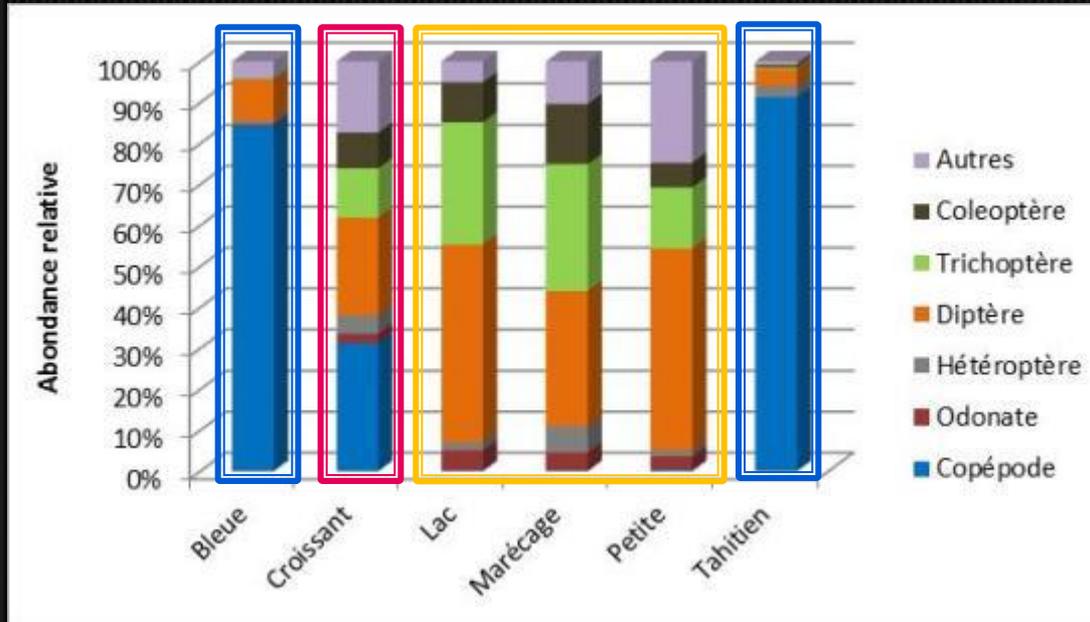
→ 3 structures de communauté selon les dolines



Les invertébrés benthiques

❖ Comparaison inter-dolines

Milieu « intermédiaire »

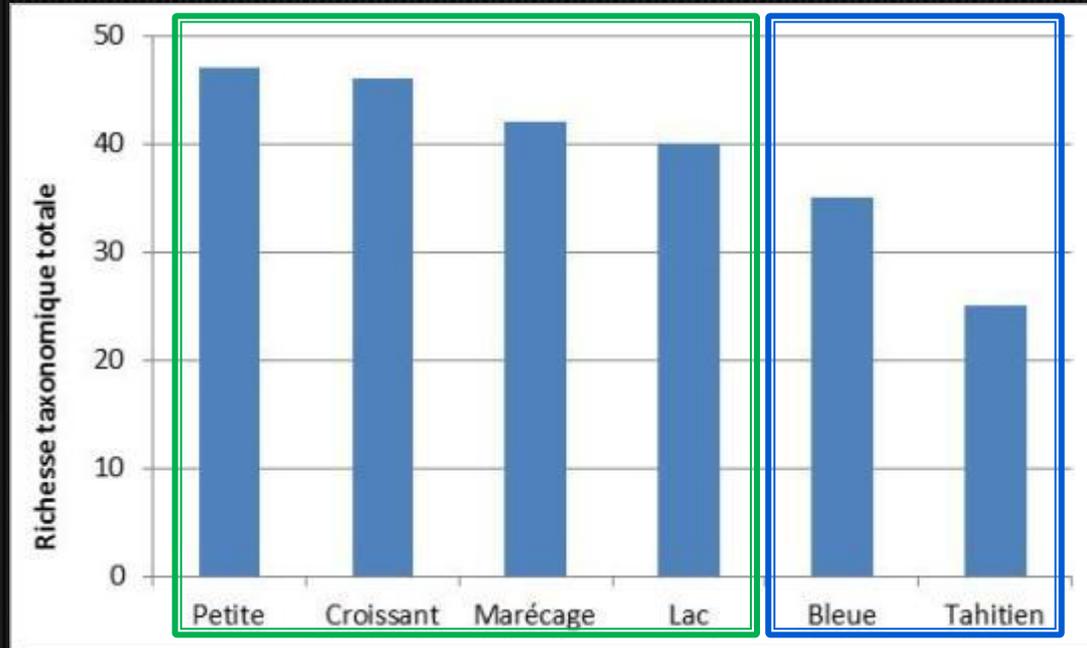


→ 3 structures de communauté selon les dolines



Les invertébrés benthiques

❖ Comparaison inter-dolines

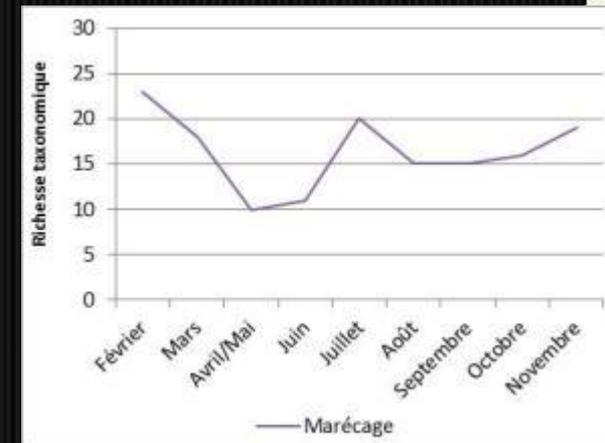
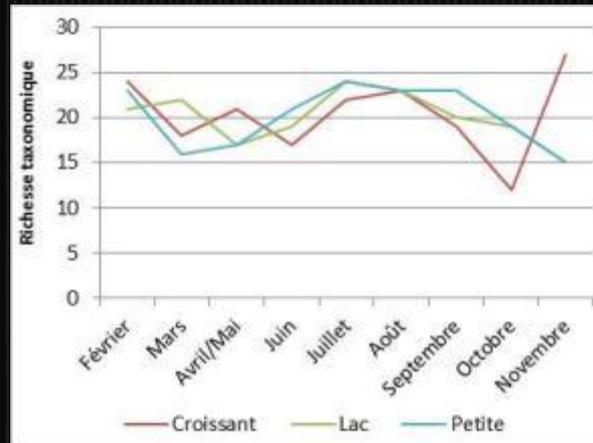
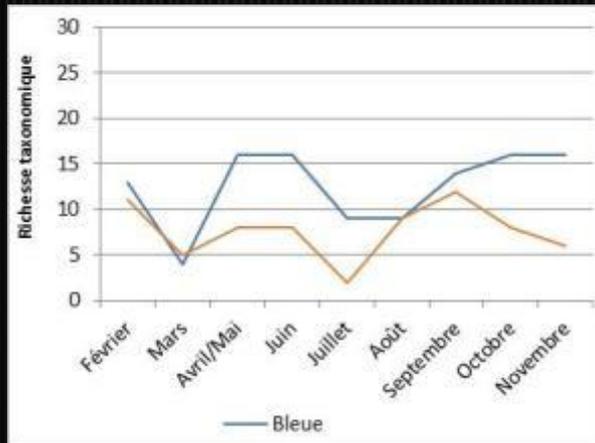


- Bleue et Tahitien les moins diversifiées ($N < 35$), substrat minéraux
- Autres dolines ($N \geq 40$) n substrat minéraux + végétaux + biofilm

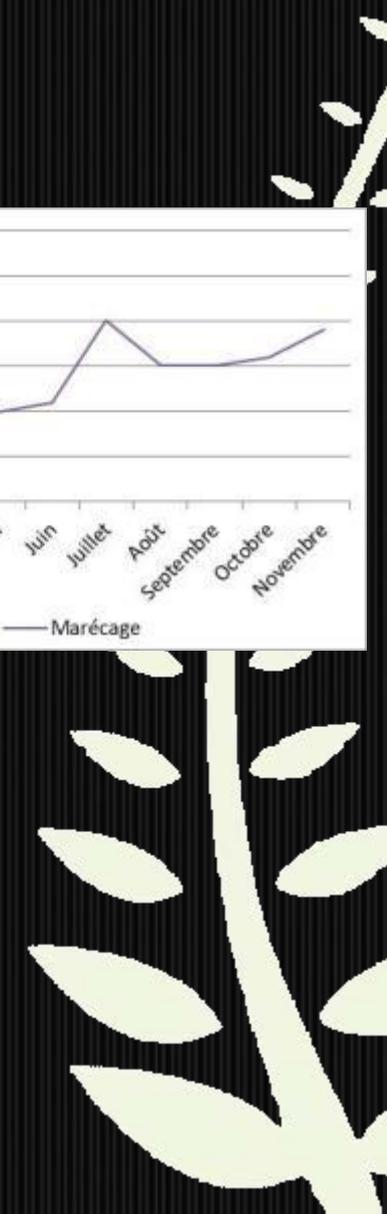


Les invertébrés benthiques

❖ Analyse des variations saisonnières

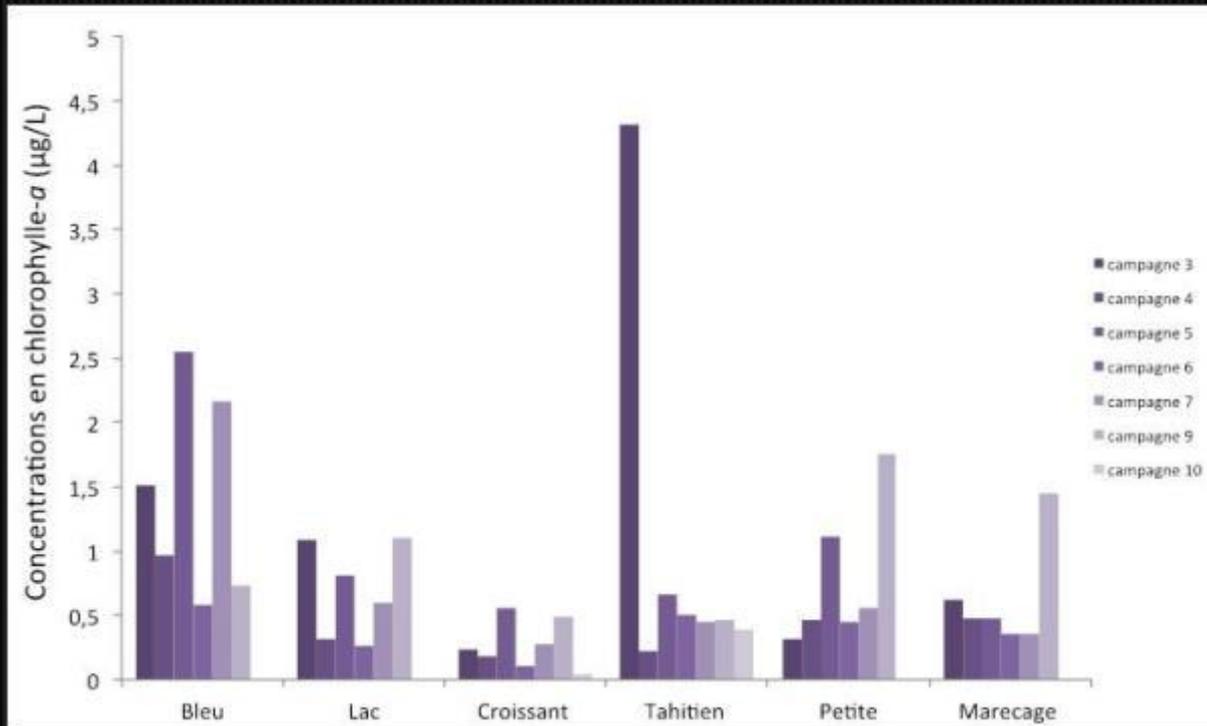


- ➔ Pas de variation saisonnière des peuplements benthiques,
- ➔ Richesse taxonomique évolue de manière aléatoire,
- ➔ Tendances d'évolution similaires entre certaines dolines :
 - Entre le Trou du Tahitien et la doline bleue
 - Entre les dolines croissant, lac et petite



Le phytoplancton

❖ Analyse Chlorophylle -a



→ Biomasses sont toutes inférieures à 2,5 µg/L, valeurs très faibles, (campagne 3 du trou de Tahitien dont le résultat reste à confirmer)

→ Typique milieux oligotrophes à ultraoligotrophes



Le phytoplancton

❖ Analyse composition des communautés phytoplanctoniques

	Petite Doline	Doline bleue	Doline croissant	Trou du tahitien	Doline marécage	Doline Lac
Dinoflagellés	93,7 (92-96,6)	99,5 (98,6-100)	84,5 (42-98,2)	91,4 (72-99,3)	83,5 (65,2-96,2)	96,7 (92,4-100)
Chrysophycées (Dinobryon)	1,7 (0-5,4)	0 (0-0)	11 (0-55,1)	4,9 (0-22,2)	0,3 (0-1,6)	0,3 (0-1,2)
Cyanobactéries	2,1 (1-4,6)	0,4 (0-1,2)	2,8 (0,6-6,1)	0,7 (0,1-2,4)	7 (0-18,4)	0,3 (0-0,8)
Chlorophycées	0,3 (0-0,6)	0 (0-0,2)	0,2 (0-0,7)	0,1 (0-0,4)	0,2 (0-0,4)	0,1 (0-0,2)
Desmidiaceae	2,2 (0-9,4)	0,1 (0-0,6)	1 (0-4,7)	0,6 (0-2,6)	5,4 (1-16,4)	2,7 (0-5,8)
Diatomées	0 (0-0)	0 (0-0)	0,6 (0-3,4)	2,2 (0-10)	3,7 (0-12)	0 (0-0)

➔ Dinoflagellés sont largement dominant dans les dolines (83% < N < 99%)

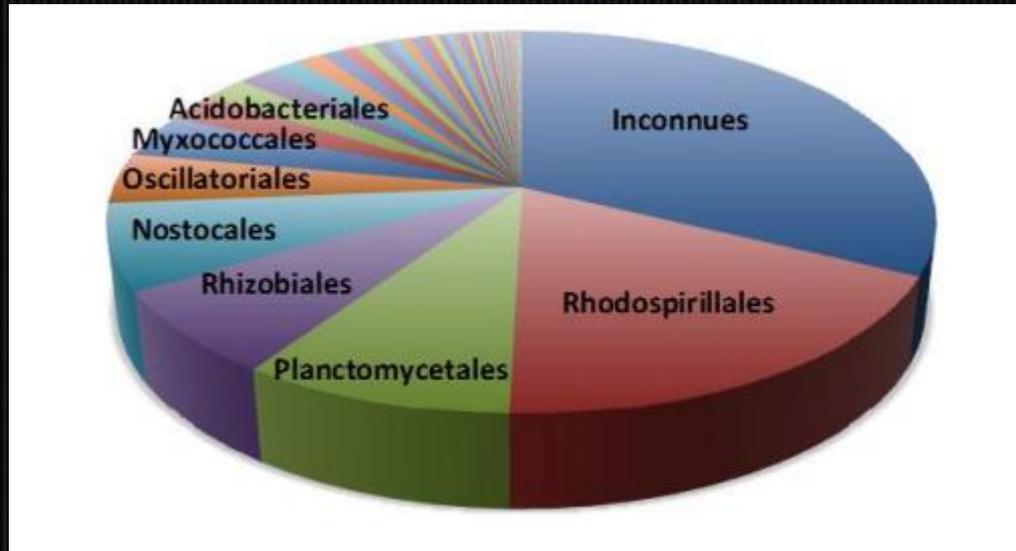
➔ Production planctonique semble donc très limitée dans ces écosystèmes



Le biofilm benthique

❖ Etude de la composition des biofilms benthiques

Rq: Résultats de cette approche obtenus début 2015, analyses encore en cours à finir



→ Assemblage complexe, peu commun de bactéries photosynthétiques (Rhodospirillales), Cyanobactéries (Oscillatoriales et Nostocales), et de bactéries non photosynthétiques (Planctomycetales, les Rhizobiales, les Myxococcales et les Acidobacteriales),

→ Nombre important de bactéries potentiellement capables de fixer l'azote atmosphérique,.



Conclusions

- ❖ La physico-chimie *in situ* montre une homogénéité spatio-temporelle
- ❖ La productivité de ces milieux est très faible (plans d'eau oligotrophes à ultra-oligotrophes)
- ❖ Productivité majoritairement benthique avec la prédominance des mattes microbiennes à la base du réseau trophique (fixatrice de l'azote atmosphérique), fonction très importante dans ces milieux qui sont pauvres en azote organique minérale.



Perspectives

- ❖ Elargir le réseau d'étude aux dolines de klippe de la région Nord-ouest (Tiébaghi, Koniambo, Pinpin)
- ❖ Intégrer des dolines perturbées ou anciennement perturbées (région Vale-NC)
- ❖ Améliorer la connaissance sur la biodiversité du biofilm à la base du réseau trophique
- ❖ Elaboration de l'outil de diagnose rapide





Merci de votre attention

