



**HAL**  
open science

## **Impact de contaminants chimiques versus occupation du sol sur les activités enzymatiques du sol**

Nathalie Cheviron, Christelle Marraud, Wassila Riah, Jean Trap, Steven Criquet, Antonio Bispo, Cécile Grand, Laurence Galsomies, Guenola Pérès, Karine Laval, et al.

### ► **To cite this version:**

Nathalie Cheviron, Christelle Marraud, Wassila Riah, Jean Trap, Steven Criquet, et al.. Impact de contaminants chimiques versus occupation du sol sur les activités enzymatiques du sol. Congrès de la SEFA, Jul 2012, Lyon, France. hal-02746180

**HAL Id: hal-02746180**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02746180v1>**

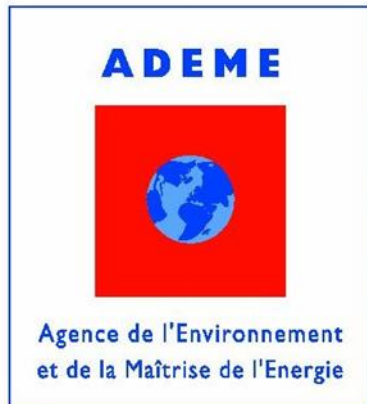
Submitted on 25 Mar 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Impacts des contaminants chimiques versus occupation des sols sur les activités enzymatiques

N. Cheviron<sup>1</sup>, C. Marraud<sup>1</sup>, W. Riah<sup>2</sup>, J. Trap<sup>2</sup>, S. Criquet<sup>3</sup>,  
A. Bispo<sup>4</sup>, C. Grand<sup>4</sup>, L. Galsomies<sup>4</sup>, G. Peres<sup>5</sup>, K. Laval<sup>2</sup>,  
I. Trinsoutrot-Gattin<sup>2</sup>, C. Mougin<sup>1</sup>



<sup>1</sup>INRA, UR PESSAC, Versailles

<sup>2</sup>ESITPA, Laboratoire Agri'Terr, Rouen

<sup>3</sup>Université Paul Cézanne, IMBE, Marseille

<sup>4</sup>ADEME, Angers

<sup>5</sup>Université de Rennes-1, UMR ECOBIO, Rennes



# Le contexte

Préserver les fonctions des sols,  
une nécessité pour l'agriculture, l'environnement et les sociétés



Le programme « Bioindicateurs » de l'ADEME  
(améliorer connaissances, indicateurs qualités, gestion des sols)



- Phase 1 (2005-08) : développer les bioindicateurs microbiologie, faune, végétaux
- Phase 2 (2009-12) : tester les bioindicateurs sélectionnés sur des sites ateliers communs

Évaluer la sensibilité et les limites d'utilisation des indicateurs  
Élaborer un premier référentiel d'interprétation des données  
Transférer les résultats pour l'évaluation des risques  
18 organismes, 23 laboratoires, 13 sites

# Nos objectifs spécifiques

- ❖ **Mesurer l'effet des contaminations sur treize activités enzymatiques**
- ❖ **Identifier les enzymes à fort potentiel d'indication**
- ❖ **Tester des indices multi-enzymatiques d'état des sols qui sont disponibles dans la littérature**

# Les sites étudiés

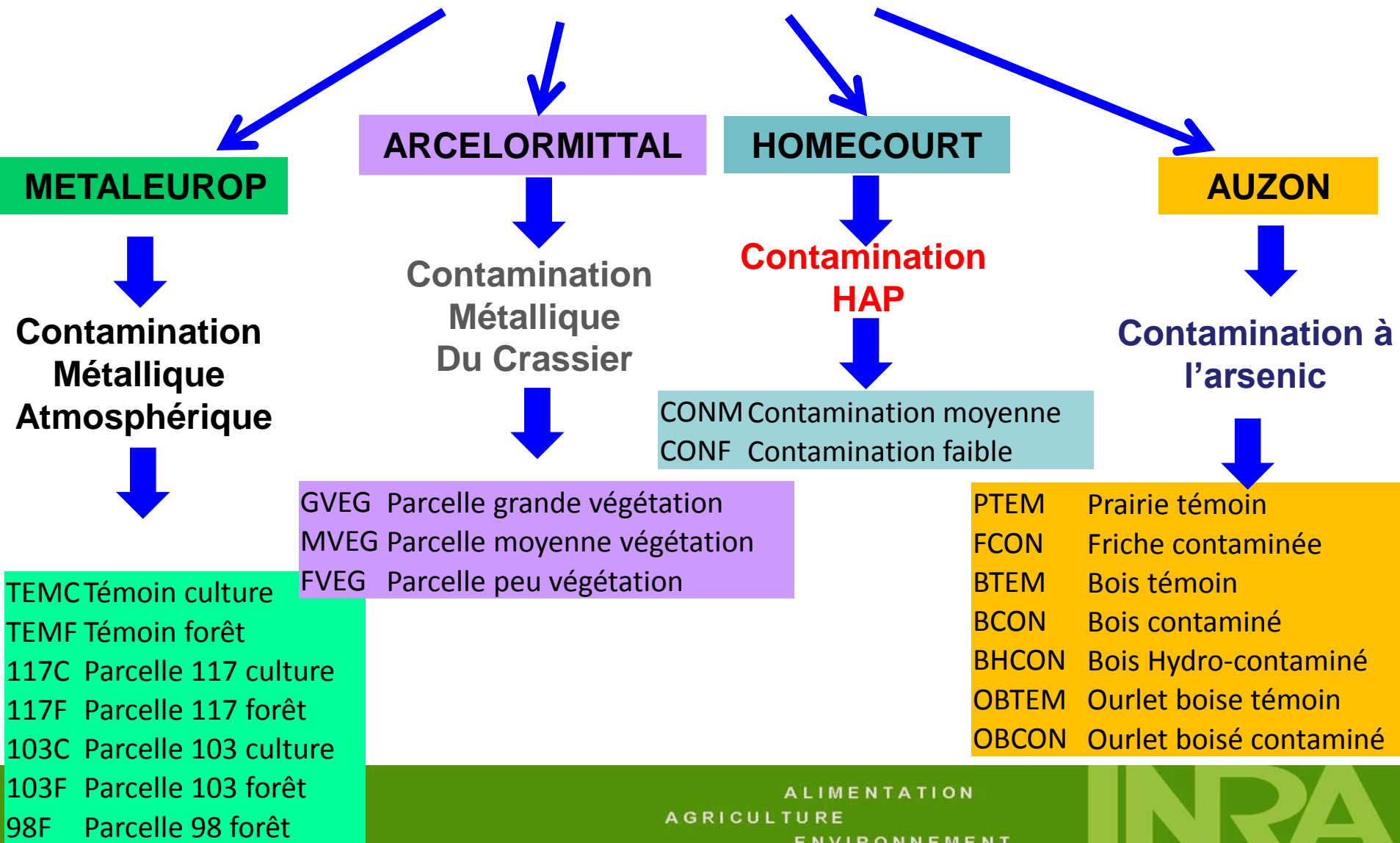


## 13 sites :

- 4 agricoles
- 4 milieux naturels
- Renecofor
- 4 sites contaminés
- 1 Andra

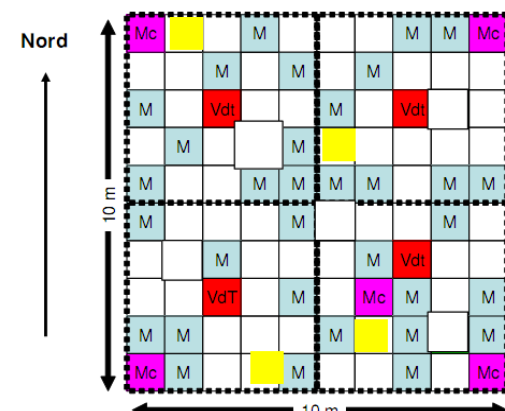
# Les sites ateliers

## Effet de la contamination



# Design expérimental

- Sur site, des prélèvements selon une stratégie commune
- 3 groupes d'indicateurs : microbiologie, faune, flore
- Pour chacun des 3 partenaires microbiologie, des échantillons homogénéisés et tamisés au laboratoire
- Des analyses sous 24 heures
- **13 activités enzymatiques**
  - Métabolisme Global : DES, FDA, LIP
  - Cycle du carbone : CEL, GAL, GLU, NAG, XYL
  - Cycle de l'azote : ARYLN, URE
  - Cycle du soufre : ARYLS
  - Cycle du phosphore : PAC, PAK
- A PESSAC, une standardisation en microplaques



# Analyse des données

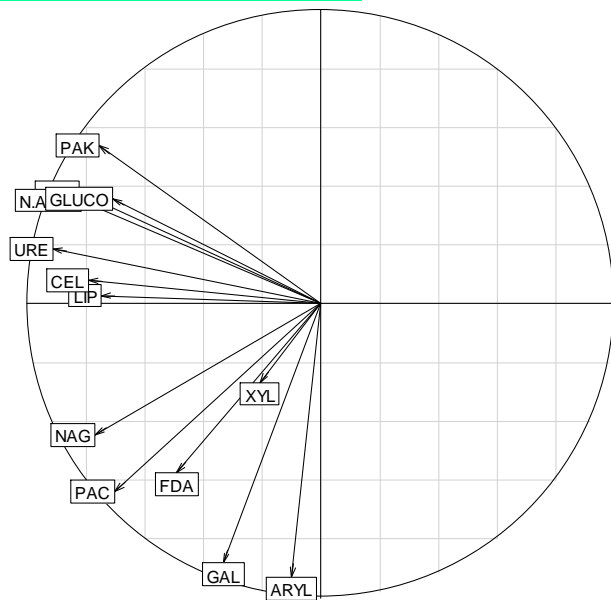
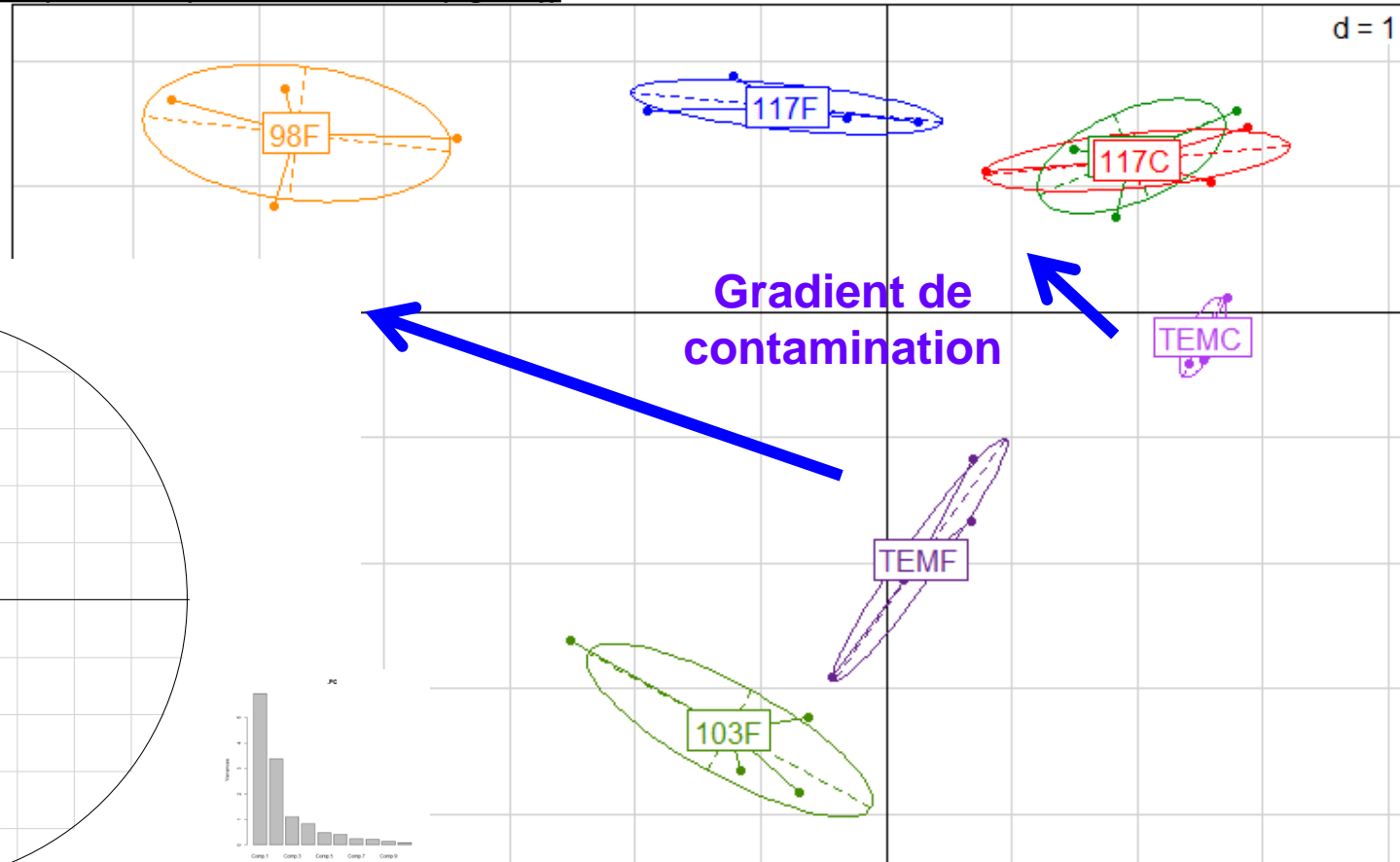
- ❖ **Analyse en composante principale (ACP) sur les activités enzymatiques pour les sites de Métaleurop et Auzon**
- ❖ **Test de Kruskal-Wallis sur les activités enzymatiques pour chaque sites**
- ❖ **Analyses des indices cumulatifs de Puglisi *et al.* (2006) et Garcia Ruiz *et al.* (2008)**



**Typologie** : effet d'une contamination organique\_métallique par apport atmosphérique versus couvert végétal (Site Métaeurop)

**Multivariée ACP ( 13 variables (colonnes) x 28 individus (lignes))**

TEMC Témoin culture  
 TEMF Témoin forêt  
 117C Parcelle 117 culture  
 117F Parcelle 117 forêt  
 103C Parcelle 103 culture  
 103F Parcelle 103 forêt  
 98F Parcelle 98 forêt

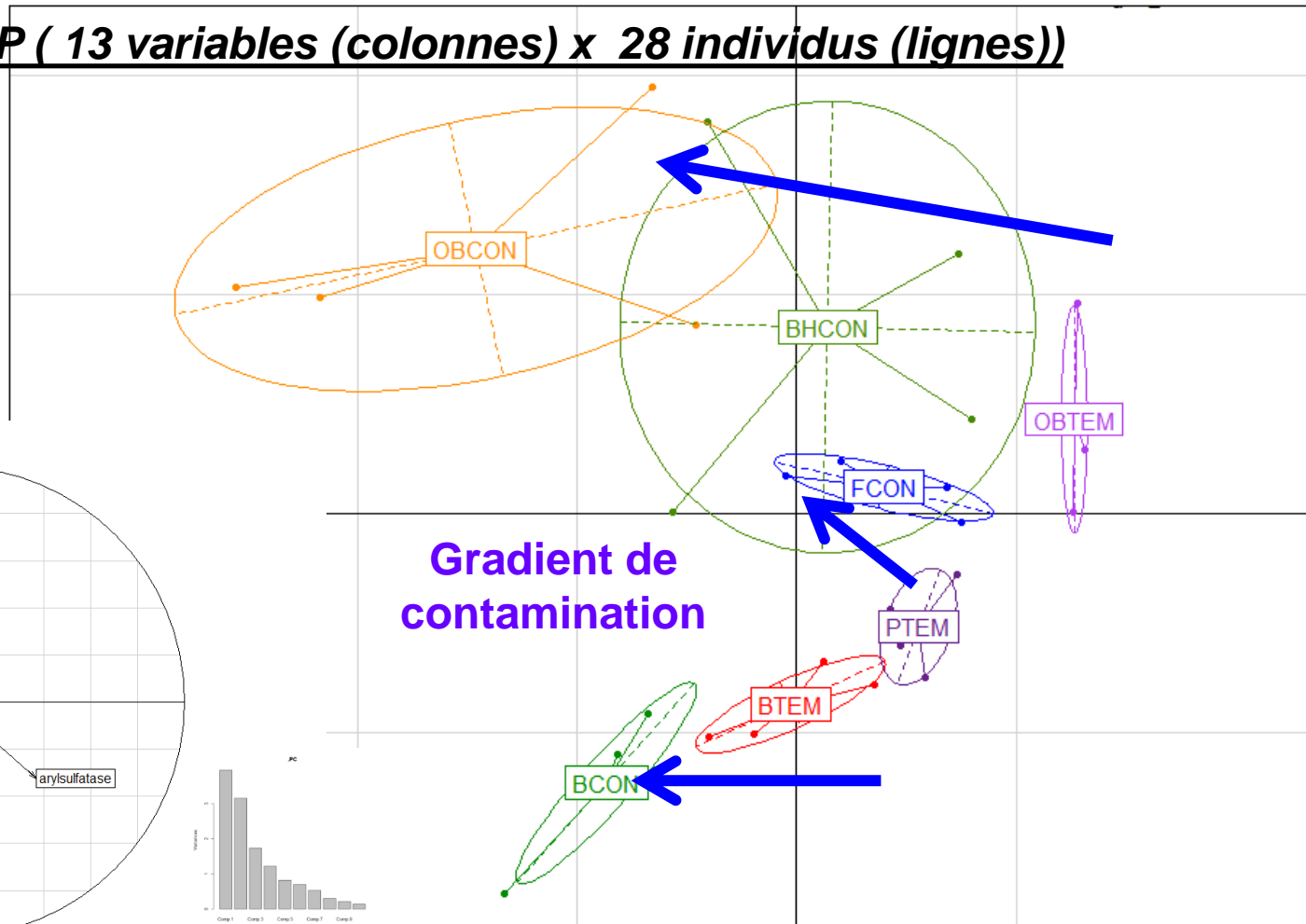


**Discrimination couvert végétal/niveau de contamination (forêt)**

**Typologie** : effet d'une contamination métallique à l'arsenic  
apportée versus couvert végétal (Site d'Auzon)

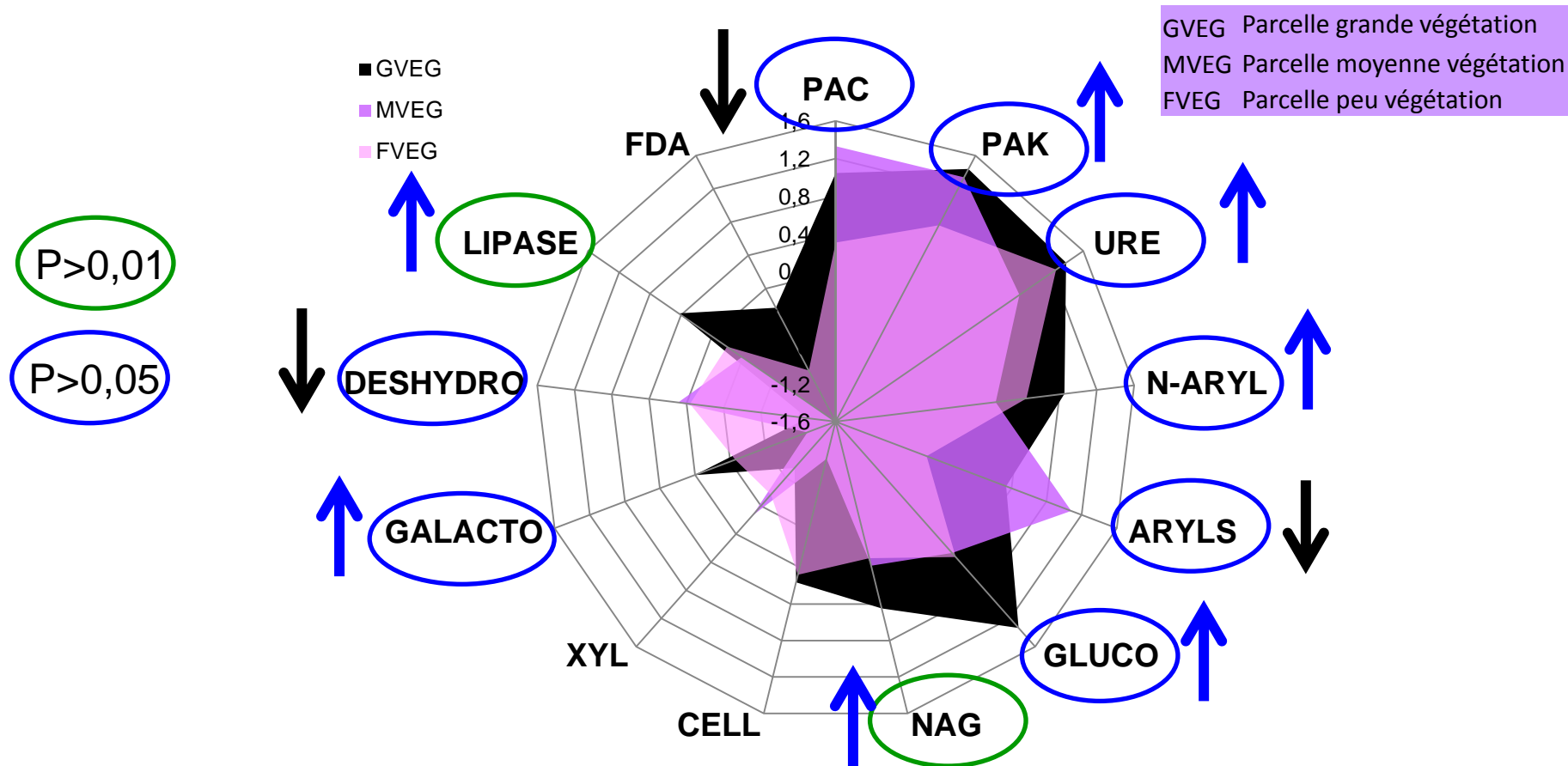
**Multivariée ACP ( 13 variables (colonnes) x 28 individus (lignes))**

PTEM	Prairie témoin
FCON	Friche contaminée
BTEM	Bois témoin
BCON	Bois contaminé
BHCON	Bois Hydro-contaminé
OBTEM	Ourllet boise témoin
OBCON	Ourllet boisé contaminé



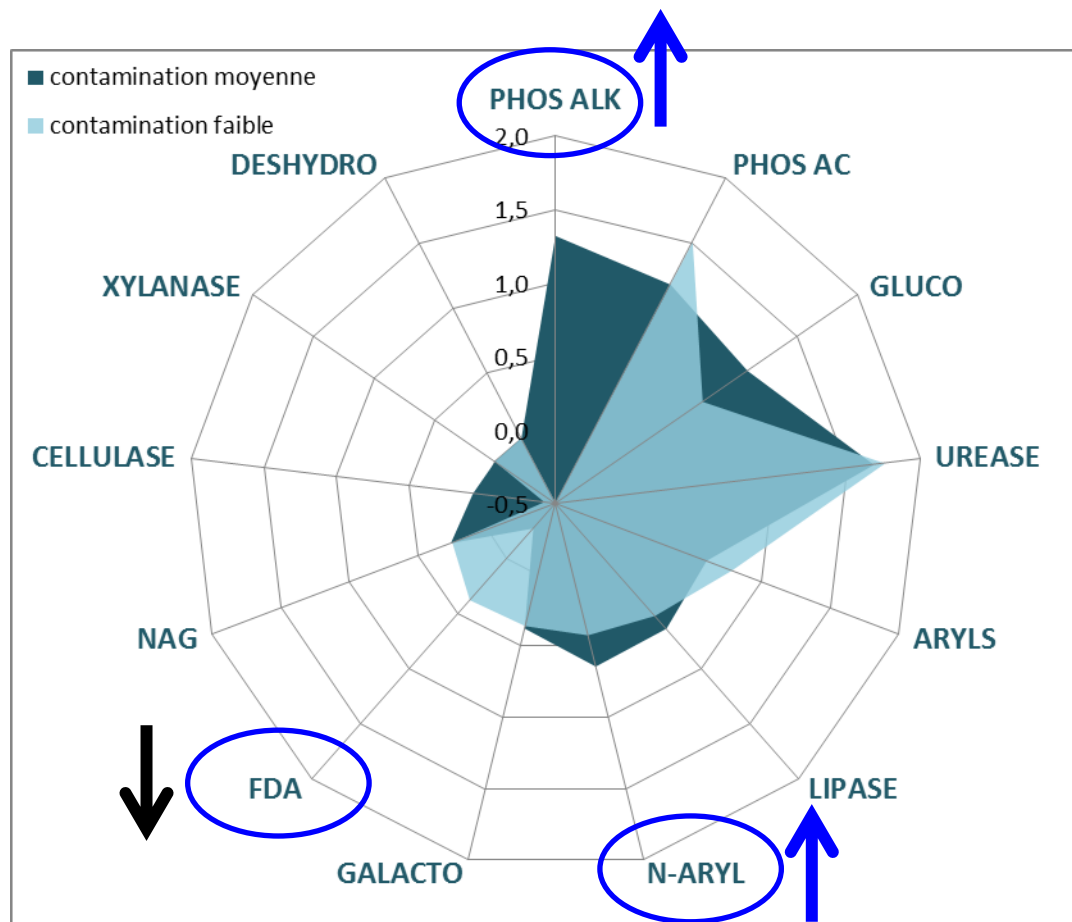
**Discrimination niveau de contamination différent selon couvert végétal**

**Typologie** : effet d'une contamination Métallique (Site de St-Etienne)



**10 enzymes sur 13 significativement modifiées selon le niveau de contamination**

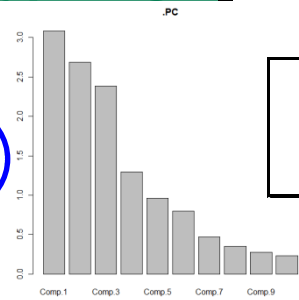
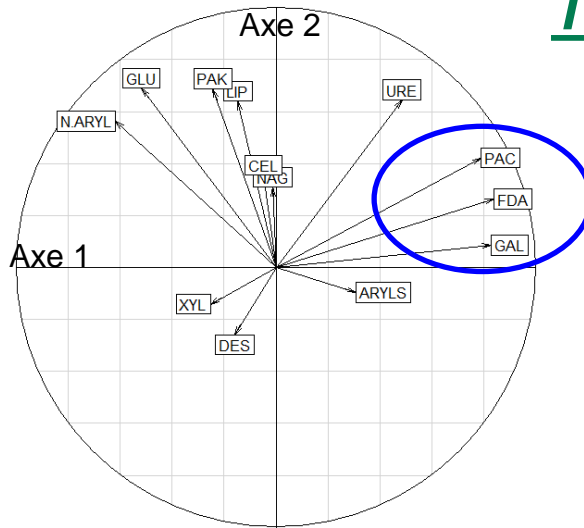
**Typologie** : effet d'une contamination organique (Site du GISFI)



$P > 0,05$

**3 enzymes  
significativement  
modifiées selon  
le niveau de  
contamination**

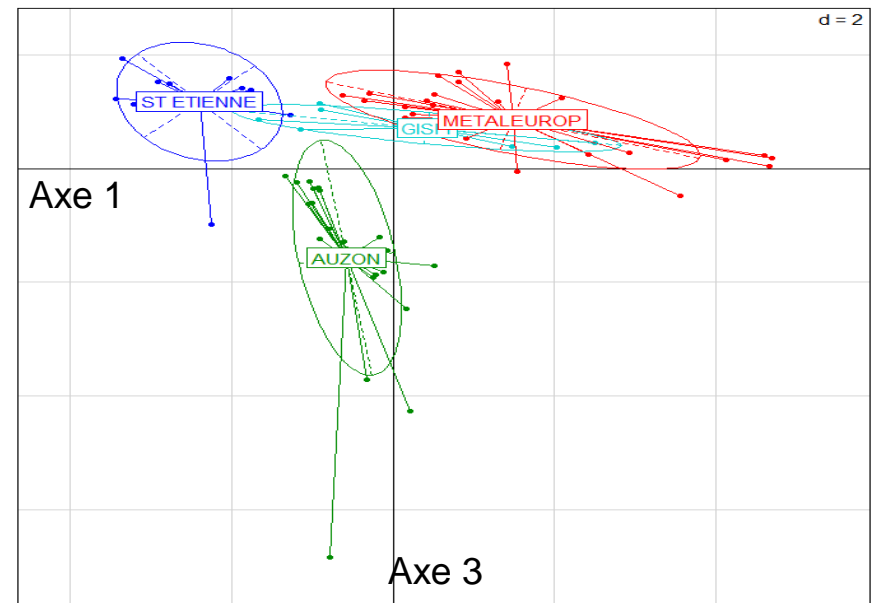
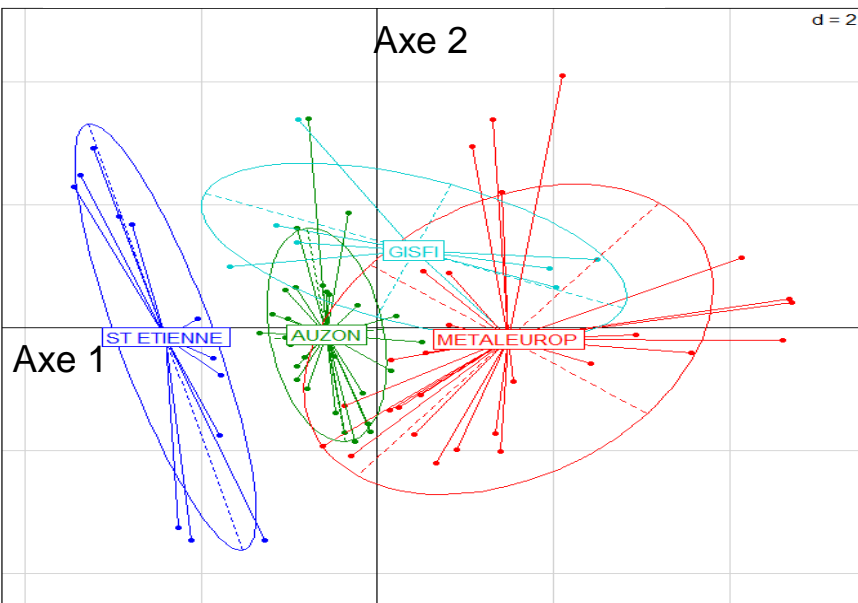
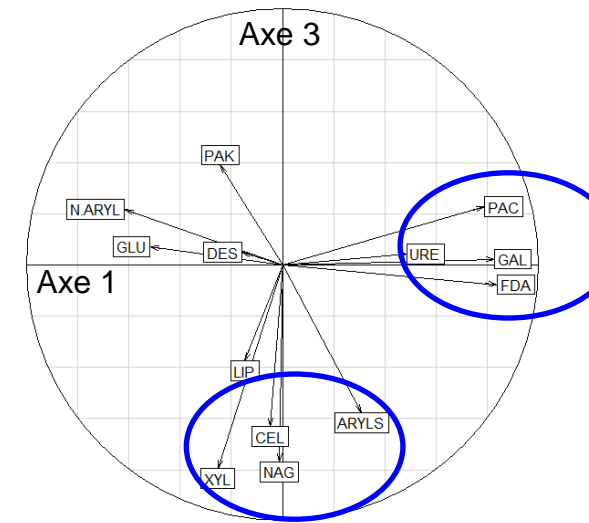
CONM Contamination moyenne  
CONF Contamination faible

**Typologie** : effet site

	%
axe1	24,3265325
axe2	20,4937917
axe3	18,1963717

**3 axes significatifs**

**Axe 2 peu discriminant**



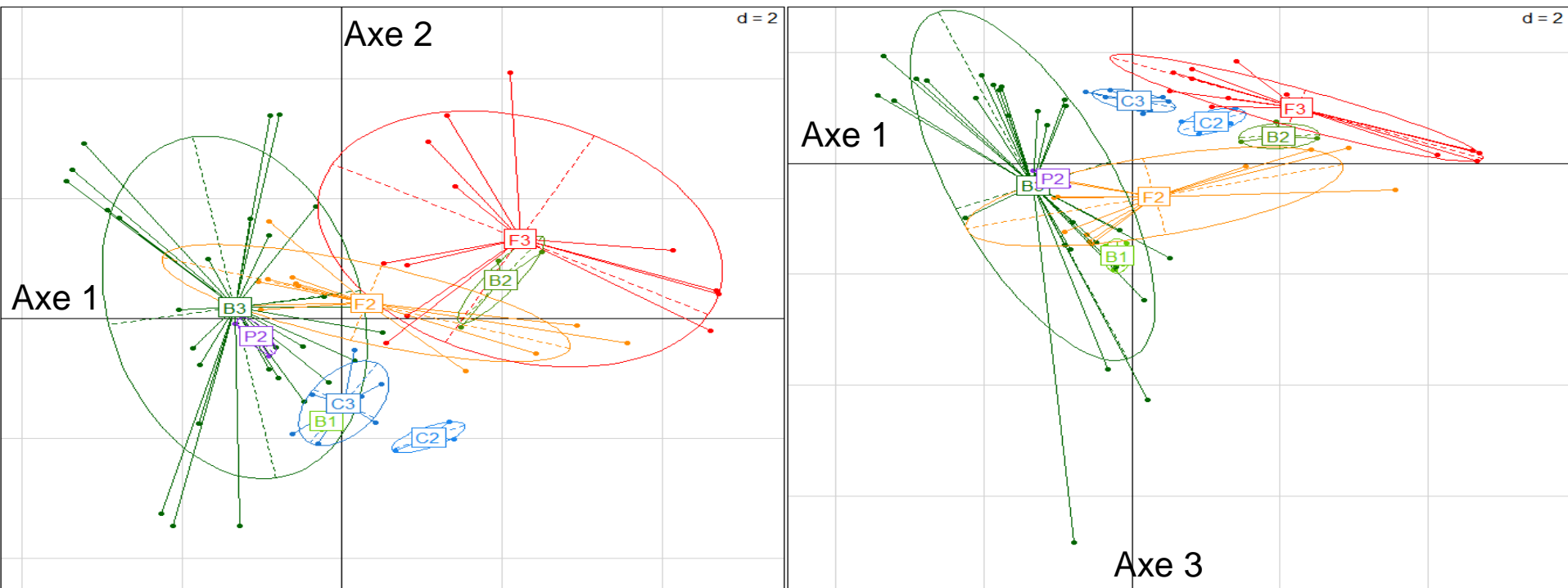
## Typologie : effet niveau de contamination vs couvert végétal

Discrimination niveau de contamination/cultures (C1/C2)

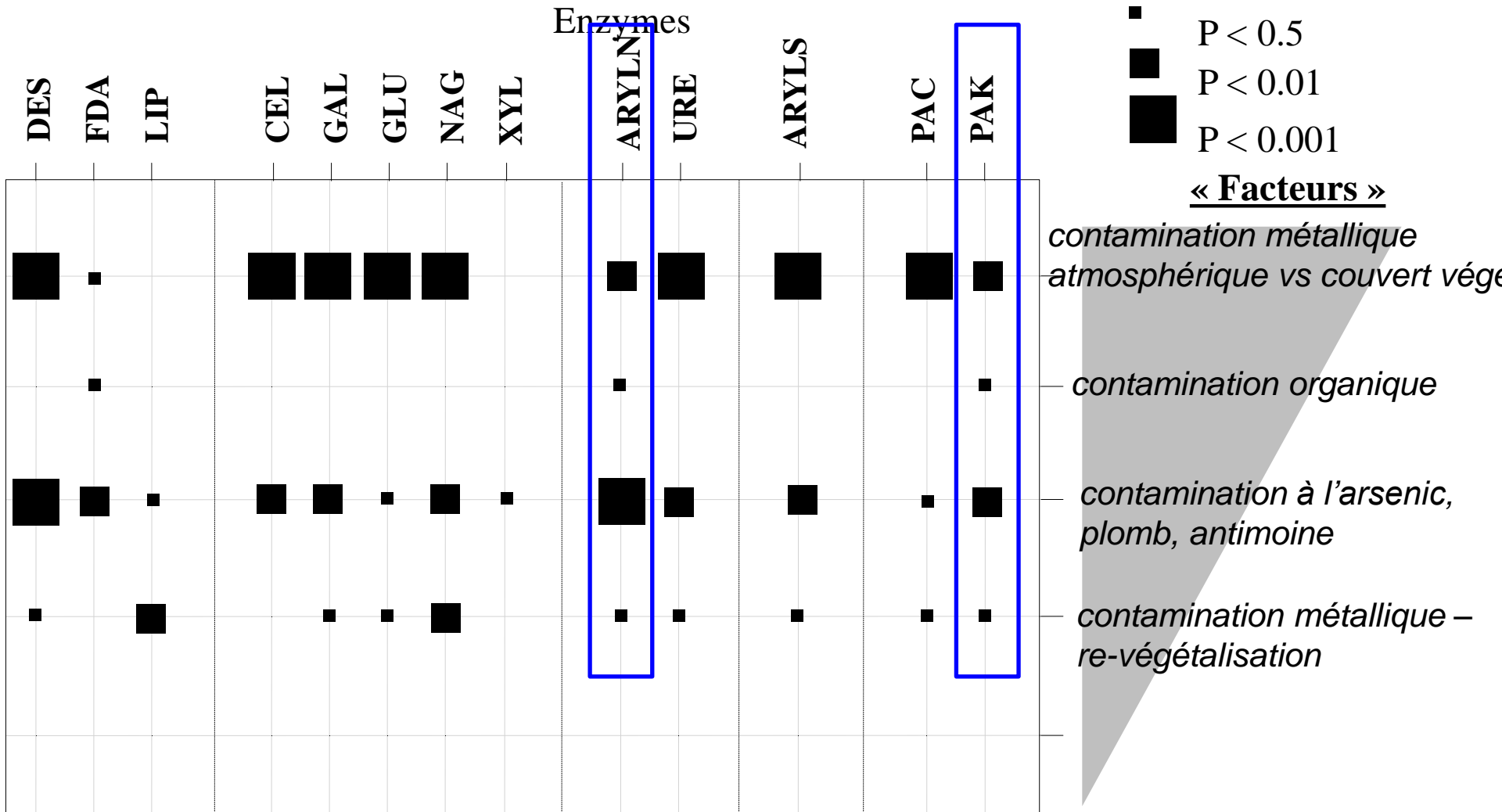
Discrimination niveau de contamination/forêts (F2/F3)

Très grande hétérogénéité facteur Friches/niveau contamination 3 (B3)

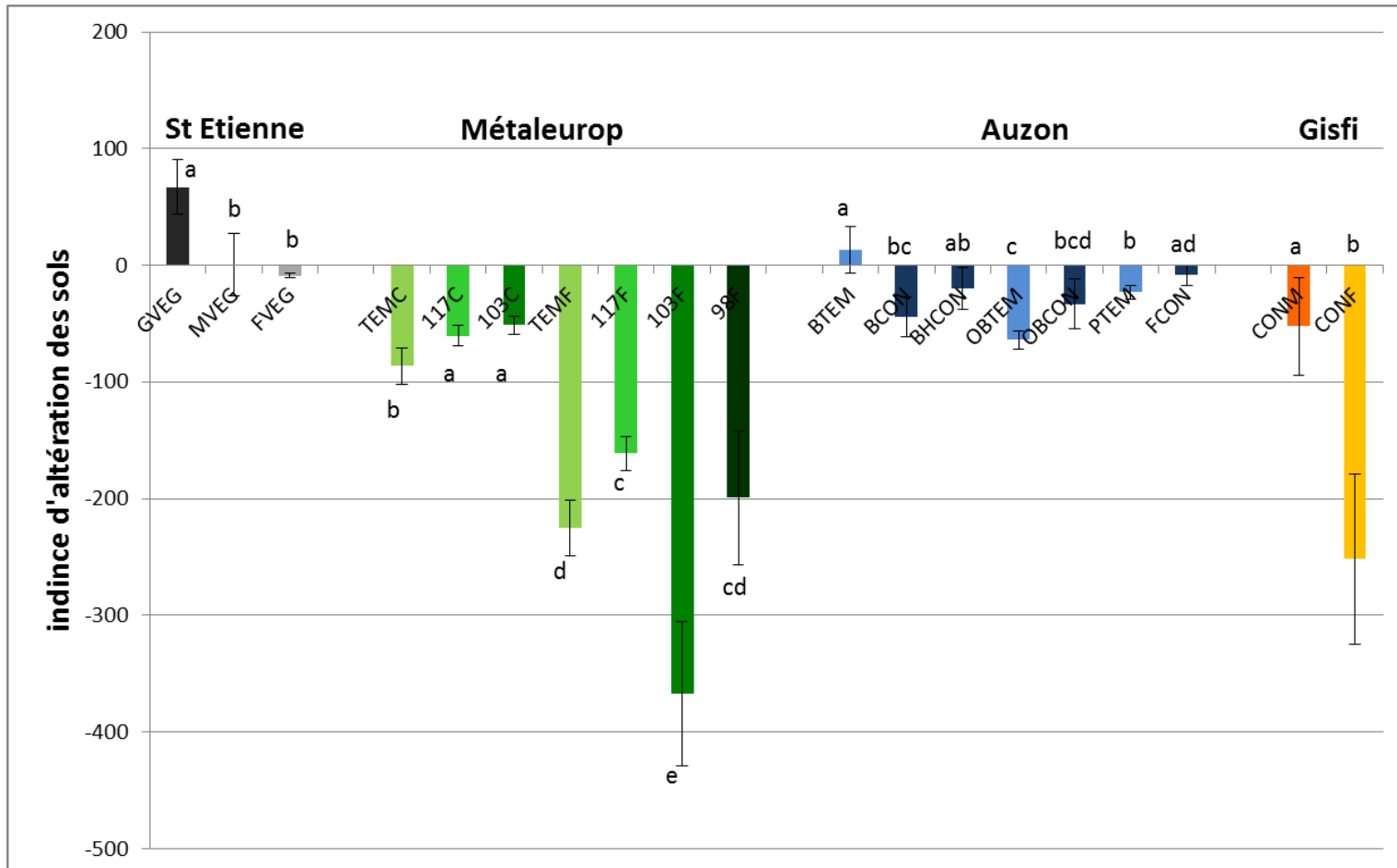
C	culture
P	Prairie
F	Forêt
B	Friches et apparentées
1,2,3	Niveau de contamination



## Réponses des activités enzymatiques aux contaminations



**Indice multienzymatique : Indice de Puglisi et al (2006)**  
**(AI = 7,87 B-GLU – 8,22 (PAC+PAL) – 0,49 URE)**



**L'indice d'altération est assez sensible pour différencier les degrés d'altération entre sites, et des niveaux de contamination intra site**



## Impact des contaminants sur les activités enzymatiques

- Les contaminations métalliques et à l'arsenic affectent respectivement 11 et 13 activités enzymatiques
- Une contamination organique impacte significativement 2 activités enzymatiques

## Activités enzymatiques qui répondent à toutes les contaminations

- **ARYL-N et PAK**

Il manque peut être plus de données sur des contaminations organiques

## Effet des pratiques agricoles : Riah *et al.* JES 2012 – Versailles

- rotations culturales, travail du sol et amendements affectent les activités:

**PAK, URE, GLU, ARYL-N**

## Objectif d'un diagnostic de l'état des sols :

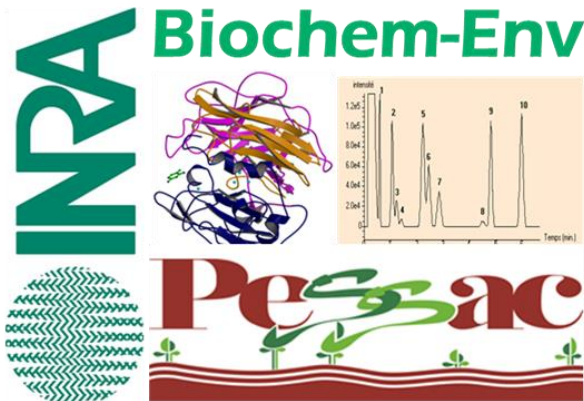
- Choisir les activités en fonction de la question agronomique posée
- Elaborer un indice d'état des sols basé sur les enzymes affectées significativement par un ensemble de facteurs

## Projet INEE/INRA

### *Analysis and Experimentation on Ecosystems - Service (ANAEE-S)*

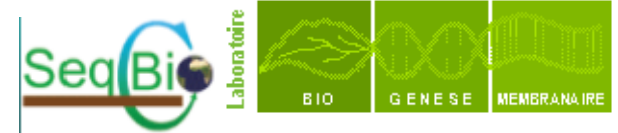
**Obj :** comprendre et prévoir la biodiversité et la dynamique des écosystèmes dans un contexte de changements globaux

**Str:** un réseau intégré des plateformes expérimentales, analytiques et de modélisation majeures



- Une plateforme haut-débit pour la caractérisation biochimique de l'environnement
- Investissements d'Avenir 2011

# Remerciements



IRD Montpellier

Univ. Bordeaux



ENSAIA-INPL Nancy



IRD Bondy



Univ. rennes-1



INRA Dijon



Univ. Franche-Comté



Clermont-ferrand



ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT



# Pour en savoir plus

**Rendez-vous aux journées techniques de l'ADEME  
les 16 & 17 octobre 2012**

**Maison de la Chimie, 28 rue Saint-Dominique, Paris**



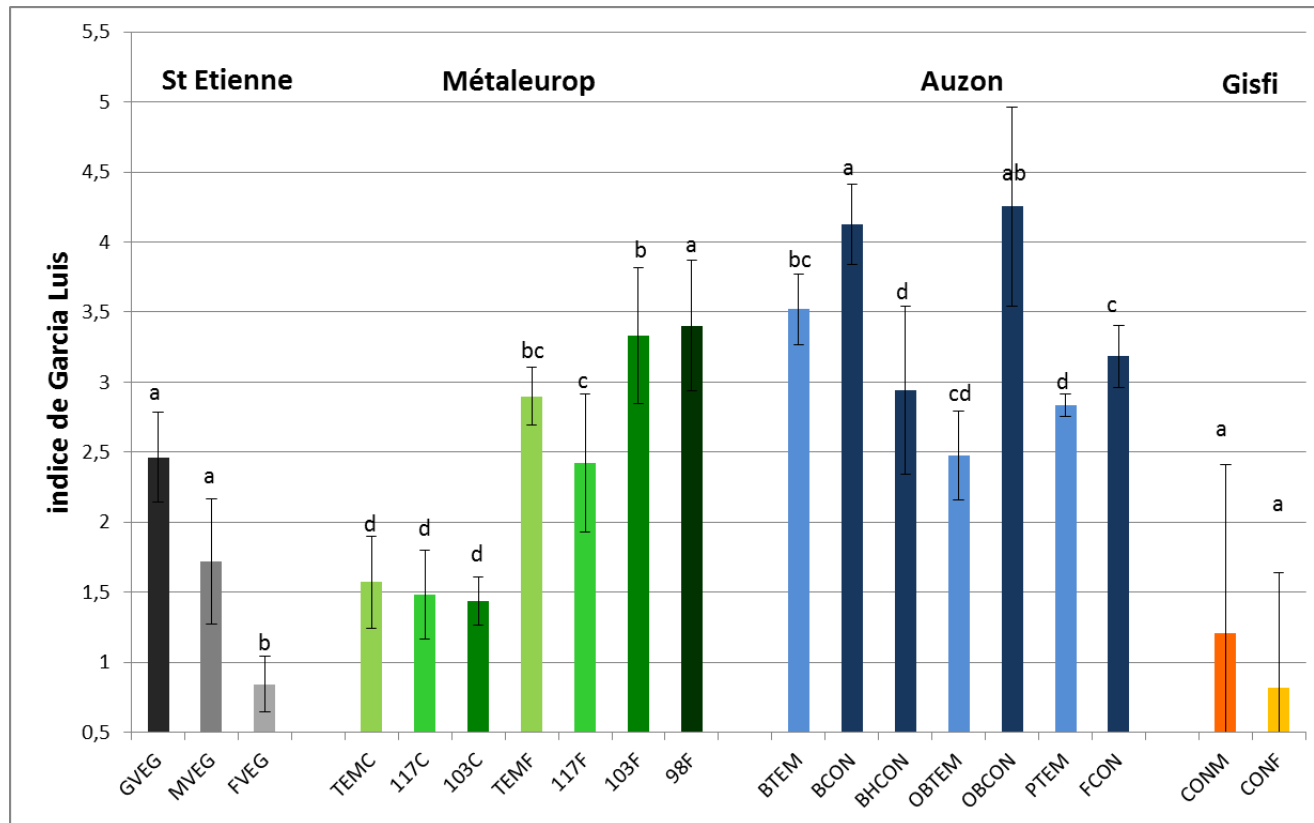
**16 oct : Bioindicateurs pour la caractérisation des sols**

17 oct : Phytotechnologies appliquées à la gestion des sites contaminés

**infos pratiques : <http://www2.ademe.fr>**

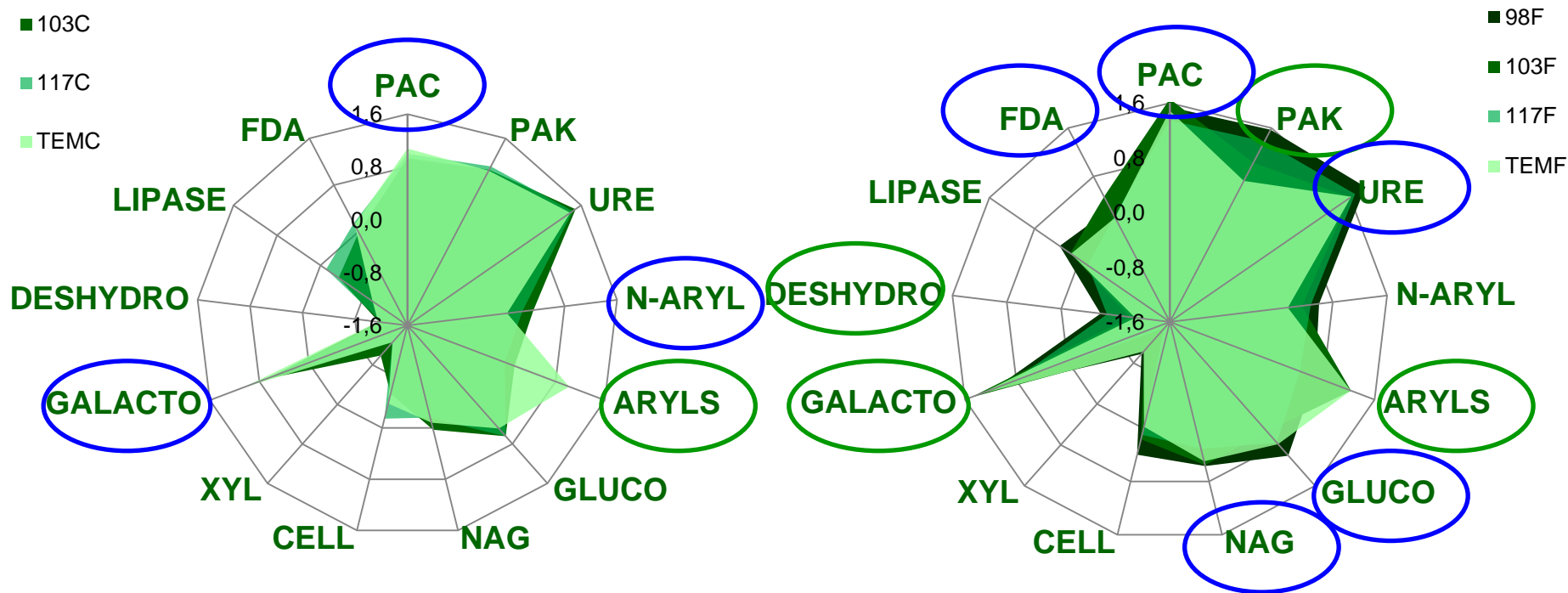
## Indice multienzymatique : Geometric mean : Indice proposé par Garcia-Ruiz et al, (2008 )

MGea = <sup>13</sup> B-GLU x PAC x PAL x URE x DES x LIP x XYL x CEL x NAG x ARYLN x ARYLS x FDA x GAL



La moyenne géométrique ne différencie pas ou peu les niveaux de contamination entre sites, et intra site

**Typologie** : effet d'une contamination organique\_métallique par apport atmosphérique versus couvert végétal (Site Métaleurop)



**Parcelles sous culture**

**Parcelles sous Forêt**

P > 0,001

P > 0,01

P > 0,05

# *l'effet d'une contamination métallique par apport atmosphérique versus couvert végétal (Site Métaleurop)*

## **Univariée Kruskal-Wallis (lecture horizontale) puis comparaisons multiples de Tukey ( 13 variables (colonnes) x 28 individus (lignes))**

Une analyse globale

enzyme	modality																				
	TEMF			TEMC			98F			117F			117C			103F			103C		
<b>Global activity</b>																					
Deshydrogenase	0,08	0,04	b	0,07	0,05	b	0,26	0,05	a	0,21	0,03	a	0,06	0,02	b	0,10	0,06	b	0,07	0,04	b
FDA	1,32	0,78	bc	1,33	0,59	bc	1,85	0,24	b	1,39	0,21	bc	1,41	0,39	c	2,93	0,40	a	0,98	0,61	c
Lipase																					
<b>C cycle</b>																					
Cellulase	0,71	0,58	bcd	0,42	0,48	b	2,49	1,23	a	1,25	0,47	ac	0,72	0,44	bc	1,46	0,26	ad	0,29	0,27	b
Galactosidase	24,22	4,99	a	11,82	4,35	d	13,35	2,52	d	7,61	1,02	c	4,16	1,60	bc	32,53	6,08	ad	4,83	1,33	b
Glucosidase	6,09	1,23	b	3,07	0,51	c	10,24	1,17	a	5,77	1,83	b	4,45	0,59	bc	3,47	2,86	bc	4,41	1,39	bc
N-Acetyl-glucosaminidase	3,13	0,38	a	0,83	0,56	b	3,69	1,15	a	2,02	0,57	c	0,69	0,47	b	3,57	0,80	a	1,07	0,48	b
Xylanase	0,09	0,06	a	0,05	0,06	ab	0,11	0,05	ab	0,03	0,02	b	0,06	0,04	ab	0,09	0,06	ab	0,10	0,02	a
<b>N Cycle</b>																					
Arylamidase																					
Uréase	41,86	3,23	c	25,15	2,51	d	74,59	12,95	a	49,05	6,74	c	27,89	4,14	bd	40,33	7,43	c	31,34	2,23	b
<b>S cycle</b>																					
Arylsulfatase	16,95	1,69	a	10,47	0,32	b	4,71	0,82	c	2,71	0,68	d	0,95	0,23	e	17,13	1,02	a	1,37	0,11	f
<b>P cycle</b>																					
Acid phosphatase	30,73	3,51	e	11,95	1,56	c	34,69	8,02	ae	22,20	3,03	d	9,97	1,16	bc	45,58	6,57	a	8,58	0,37	b
Alkaline phosphatase	5,34	2,60	d	11,15	1,34	b	37,31	2,79	a	23,87	5,50	c	13,16	5,48	bc	10,69	1,71	b	11,54	3,78	b

Mean (SD) Letters(a and b) indicate significant differences between modality according Tukey's test (P<0,05, n=4)

*l'effet de la végétalisation sur le fonctionnement d'un sol pollué par  
une contamination métallique apportée (Site de St Etienne)*

**Univariée Kruskal-Wallis (lecture horizontale) puis comparaisons multiples de  
Tukey ( 13 variables (colonnes) x 12 individus (lignes))**

La parcelle faiblement végétalisée se distingue très largement des autres avec un fonctionnement du sol significativement diminué, malgré sa plus faible contamination

enzyme	modality								
	GVEG			MVEG			FVEG		
<b>Global activity</b>									
Deshydrogenase	0,05	0,02	b	0,04	0,04	b	<b>0,92</b>	<b>0,74</b>	a
FDA	0,44	0,36	ab	<b>0,41</b>	<b>0,09</b>	a	<b>0,08</b>	<b>0,09</b>	b
Lipase	<b>0,27</b>	<b>0,88</b>	c	<b>1,23</b>	<b>0,18</b>	a	<b>0,64</b>	<b>0,27</b>	b
<b>C cycle</b>									
Cellulase	<b>1,45</b>	<b>0,40</b>	a	<b>0,95</b>	<b>0,29</b>	b	1,20	0,46	ab
Galactosidase	<b>1,02</b>	<b>0,11</b>	a	0,55	0,20	b	0,35	0,12	b
Glucosidase	21,65	3,10	a	12,04	9,82	a	<b>2,12</b>	<b>1,62</b>	b
N-Acetyl-glucosaminidase	<b>2,81</b>	<b>0,46</b>	a	<b>1,86</b>	<b>0,42</b>	b	<b>0,79</b>	<b>0,59</b>	c
Xylanase	<b>0,11</b>	<b>0,04</b>	a	<b>0,06</b>	<b>0,05</b>	b	0,27	0,49	ab
<b>N Cycle</b>									
Arylamidase	7,11	0,67	a	5,97	1,98	a	<b>2,78</b>	<b>1,18</b>	b
Uréase	23,95	1,59	a	21,76	3,25	a	<b>17,80</b>	<b>1,31</b>	b
<b>S cycle</b>									
Arylsulfatase	2,19	0,13	a	1,30	0,61	a	<b>0,27</b>	<b>0,10</b>	b
<b>P cycle</b>									
Acid phosphatase	11,14	0,36	a	10,14	3,43	a	<b>2,03</b>	<b>1,29</b>	b
Alkaline phosphatase	27,43	1,56	a	21,52	5,18	a	<b>5,77</b>	<b>2,72</b>	b

Mean (SD) Letters(a and b) indicate significant differences between modality according Tukey's test (P<0,05, n=4)



# *l'effet d'une contamination métallique à l'arsenic apportée versus couvert végétal (Site d'Auzon)*

## **Univariée Kruskal-Wallis (lecture horizontale) puis comparaisons multiples de Tukey ( 13 variables (colonnes) x 28 individus (lignes))**

enzyme	modality		BHCN		BTEM		FCN		OBCN		OBTEM		PTEM							
	BCN																			
<b>Global activity</b>																				
Deshydrogenase	0,33	0,05	0,09	0,11	0,15	0,05	0,17	0,03	0,06	0,05	0,06	0,09	0,11	0,03						
FDA	1,19	0,06	1,29	0,30	0,85	0,04	0,97	0,16	1,38	0,25	0,79	0,09	0,87	0,06						
Lipase	3,80	0,24	2,13	0,16	2,10	0,45	2,36	0,57	3,22	0,96	1,84	0,23	1,95	0,09						
<b>C cycle</b>																				
Cellulase	0,93	0,52	0,95	0,43	1,83	0,26	1,29	0,15	12,83	4,40	0,42	0,18	1,06	0,10						
Galactosidase	4,15	0,66	6,96	1,85	4,88	0,40	5,00	0,92	4,63	0,61	3,10	0,13	3,23	0,25						
Glucosidase	9,34	1,57	6,80	1,70	12,95	1,33	8,73	0,99	8,10	5,06	4,76	0,41	7,96	0,78						
N-Acetyl-glucosaminidase	6,35	0,75	5,27	3,03	3,57	0,40	4,18	1,05	17,85	15,99	4,48	0,19	1,97	0,14						
Xylanase	0,45	0,04	0,59	0,14	0,37	0,06	0,55	0,04	0,56	0,11	0,53	0,10	0,42	0,02						
<b>N Cycle</b>																				
Arylamidase	4,48	0,90	2,42	0,35	3,45	0,16	3,68	0,19	2,14	0,43	2,35	0,15	4,64	0,78						
Uréase	41,72	1,45	33,46	11,43	33,95	3,97	30,64	3,93	44,22	4,38	24,70	1,99	33,25	3,64						
<b>S cycle</b>																				
Arylsulfatase	20,53	0,23	19,34	6,21	15,41	0,99	16,37	1,86	7,35	1,67	23,16	2,11	a	11,99	1,21					
<b>P cycle</b>																				
Acid phosphatase	11,79	2,48	a	7,19	2,27	a	8,72	2,61	a	7,57	0,72	a	9,15	3,09	a	10,87	0,78	a	8,40	0,45
Alkaline phosphatase	16,89	3,29		8,39	3,51		21,15	1,83		4,97	3,36		10,34	5,05		3,06	0,63		12,39	1,27

Mean (SD) Letters(a and b) indicate significant differences between modality according Tukey's test (P<0,05, n=4)

*l'effet d'une contamination organique apportée sur le fonctionnement du sol  
(Site du GISFI)*

**Univariée Wilcoxon (lecture horizontale) ( 13 variables (colonnes) x 8 individus (lignes))**

La contamination induite par les HAP semble peu impacter les enzymes du cycle du carbone, refaire le calcul avec rapport activité/TOC,

enzyme	modality					
	CONF	CONM				
<b>Global activity</b>						
Deshydrogenase	0,05	0,03				
FDA	2,40	0,46	<b>a</b>	<b>0,53</b>	<b>0,35</b>	<b>b</b>
Lipase	3,33	0,63	a	4,35	1,57	a
<b>C cycle</b>						
Cellulase	0,38	0,17	a	1,16	0,92	a
Galactosidase	2,29	0,19	a	2,38	0,91	a
Glucosidase	5,22	4,19	a	12,25	4,53	a
N-Acetyl-glucosaminidase	1,79	0,56	a	1,83	1,15	a
Xylanase	0,0013	0,0012	a	0,0007	0,0007	a
<b>N Cycle</b>						
Arylamidase	<b>2,66</b>	<b>0,18</b>	<b>b</b>	<b>4,40</b>	<b>0,56</b>	<b>a</b>
Uréase	57,42	7,79	a	48,19	12,04	a
<b>S cycle</b>						
Arylsulfatase	<b>6,10</b>	<b>0,34</b>	<b>a</b>	<b>3,98</b>	<b>1,53</b>	<b>b</b>
<b>P cycle</b>						
Acid phosphatase	32,20	12,72	a	15,20	5,83	a
Alkaline phosphatase	<b>0,32</b>	<b>0,64</b>	<b>b</b>	<b>20,92</b>	<b>3,98</b>	<b>a</b>

Mean (SD) Letters(a and b) indicate significant differences between modality according Wilcoxon's test (P<0,05, n=4)