

## Bordereau d'envoi

<b>Dossier 2014 - 005 (affaire n° 120200126)</b> <b>PCI EETB – Programmation 2012-2013</b> <b>Étude prospective sur le potentiel écotoxique des fondants routiers et de leurs impacts sur les milieux récepteurs – Synthèse des résultats des bioessais réalisés</b>	
Désignation des pièces	Nombre
<b>Rapport</b>	<b>1 ex</b>

**Destinataires****Mme Sophie CARIOU**

CEREMA DtecITM

CESP/DENV

110 rue de Paris

77171 SOURDUN

Groupe Maîtrise des Risques et Géotechnique (1 ex)

Archives Département (1 ex)

Médiathèque - support informatique (1 ex)

---

**Mme Alice NOULIN**

CGDD SEEi/IDDDPP2

Tour Voltaire

92055 LA DEFENSE Cedex

Copie :      Chef de Département   
                  Direction                      
                  Groupe Eaux et Sols         
                  Archives                          
                  Médiathèque                  

Lille, le 1 avril 2014

La Responsable du Département par intérim  
Bâtiment Énergie Environnement

Virginie MAIREY-POTIER

Direction territoriale Nord-Picardie

PCI EETB – Programmmations 2012-2013

Étude prospective sur le potentiel écotoxique des fondants routiers et de leurs impacts sur les milieux récepteurs.

*Synthèse des résultats des bioessais réalisés*



Mars 2014



## Bordereau Documentaire

Les informations en gras sont obligatoires.

### Informations du document

<b>Titre</b>	PCI EETB – Programmation 2012-2013 Étude prospective sur le potentiel écotoxique des fondants routiers et de leurs impacts sur les milieux récepteurs – Synthèse des résultats des bioessais réalisés
Sous-titre	Synthèse des résultats des bioessais réalisés
<b>Date du document</b>	Décembre 2013
<b>Diffusion</b>	<input type="checkbox"/> Confidentiel (diffusion réservée au CETE) <input type="checkbox"/> Diffusion restreinte au ministère <input checked="" type="checkbox"/> Diffusion libre
Support	<input checked="" type="checkbox"/> Papier <input checked="" type="checkbox"/> Électronique

### Auteurs

<b>Auteur N°1</b>	<b>Auteur N°2</b>	
<b>Prénom</b>	Céline	Jean-Yves
<b>Nom</b>	Chouteau	Leblain
Rôle		
Qualité		

### Organisme Auteur

#### Organisme Auteur N°1

<b>Nom de l'organisme</b>	Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
Sigle de l'organisme	CEREMA
Nom de la division	Département Bâtiment Énergie Environnement
<b>Adresse</b>	151 rue de Paris - 02100 Saint-Quentin
Numéro de téléphone	03 23 06 18 00
Adresse mail	
Adresse du site web	

### Organisme Commanditaire

#### Organisme Commanditaire N°1

<b>Nom de l'organisme</b>	CEREMA DtecITM
Sigle de l'organisme	CESP/DENV
Nom de la division	

Adresse 110 rue de Paris 77171 SOURDUN  
Numéro de téléphone  
Adresse mail  
Adresse du site web

### Informations Contractuelles

Statut du rapport	Document de travail
Nature du rapport	Rapport d'étude
Numéro de contrat	
Numéro d'affaire	120200126
Numéro du chapitre budgétaire	
ISRN	
Programme	

### Résumé

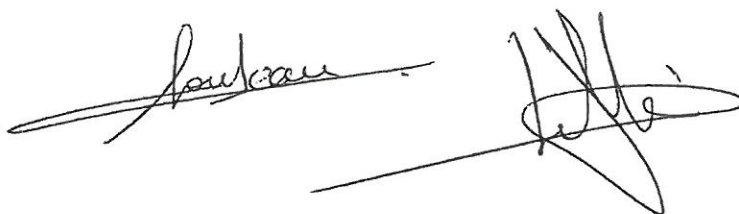
Ce travail s'inscrit dans le cadre des programmations annuelles 2012 et 2013 du PCI « Empreinte écologique des transports et biodiversité ». Une synthèse bibliographique sur la toxicité et les impacts des fondants routiers avait été réalisée dans le cadre de l'ORSI Ifsttar EPEES. Cette synthèse soulignait la toxicité des fondants routiers et leurs impacts potentiels sur les milieux. Toutefois, les références bibliographiques étant principalement nord-américaines, il semblait intéressant de pouvoir disposer d'un bilan du potentiel écotoxique des fondants routiers à partir de bioessais normalisés.

En complément, suite à une demande de la DIR Nord qui souhaitait instrumenter et suivre le niveau de contamination au droit de plusieurs stockages de sel sur certains de ses CEI, une première évaluation des impacts des fondants routiers sur les milieux récepteurs a pu être réalisée.



Étude réalisée à la demande de *Mme Sophie Cariou - SETRA*  
*Mme Alice Noulin - CGDD*

Rapport rédigé par Céline Chouteau et Jean-Yves Leblain le 07 mars 2014



Rapport vérifié et validé par Céline Hébrard-Labit le 17/03/14



*La reproduction partielle ou intégrale de ce document est interdite sans accord préalable de notre part*

---

**Direction Territoriale Nord-Picardie**  
**Département Bâtiment Énergie Environnement**

Site de Lille  
2, rue de Bruxelles  
CS 20275  
59019 Lille CEDEX  
Tél 03 20 49 60 00  
Fax 03 20 53 15 25

Site de Sequedin  
42 bis, rue Marais  
Sequedin – BP 10099  
59482 Haubourdin CEDEX  
Tél 03 20 48 49 49  
Fax 03 20 50 55 09

Site de Saint-Quentin  
151, rue de Paris  
02100 Saint-Quentin  
Tél 03 23 06 18 00  
Fax 03 23 64 11 22

Mél : DterNP@cerema.fr – Internet : [www.cerema.fr](http://www.cerema.fr)

---

# Sommaire

<b>Introduction.....</b>	<b>4</b>
Objectifs .....	4
Protocoles expérimentaux.....	4
<b>Effets du NaCl.....</b>	<b>6</b>
Essais préliminaires.....	6
Stages réalisés.....	6
Synthèse des résultats des deux stages.....	6
Évaluation du potentiel toxique du NaCl sur le compartiment aquatique.....	6
Tests de croissance algale.....	6
Conclusion .....	7
<b>Stockage de fondants routiers.....</b>	<b>8</b>
Contexte.....	8
Introduction.....	8
Présentation des sites d'études.....	8
Essais .....	11
Résultats des essais de germination .....	12
Caractérisation physico-chimique des sols.....	12
Caractérisation physico-chimique des eaux de piézomètres.....	13
Illustrations.....	14
Exploitation des résultats.....	16
Sols de DOURGES.....	16
Eaux de piézomètres de DOURGES.....	19
Sols d'ESCOEUILLES.....	23
Conclusion.....	30
DOURGES, essai sur sols.....	30
DOURGES, essai avec l'eau des piézomètres.....	31
ESCOEUILLES, essais sur sols.....	31
Synthèse.....	31
<b>Perspectives de travail .....</b>	<b>32</b>
Améliorer les connaissances sur les eaux de ruissellement routier.....	32
Niveau de contamination des eaux de ruissellement par les fondants routiers.....	32
Évaluer les effets des fondants routiers sur les écosystèmes et optimiser les systèmes de traitement.....	32
Évaluer la dangerosité des fondants routiers.....	32
Étudier l'impact des fondants routiers sur les sols.....	32
Étudier l'impact des fondants routiers sur les végétaux.....	33





# Introduction

---

## Objectifs

Ce travail s'inscrit dans le cadre des programmations annuelles 2012 et 2013 du PCI « Empreinte écologique des transports et biodiversité ». Une synthèse bibliographique sur la toxicité et les impacts des fondants routiers avait été réalisée dans le cadre de l'ORSI Ifsttar EPEES. Cette synthèse soulignait la toxicité des fondants routiers et leurs impacts potentiels sur les milieux. Toutefois, les références bibliographiques étant principalement nord-américaines, il semblait intéressant de pouvoir disposer d'un bilan du potentiel écotoxique des fondants routiers à partir de bioessais normalisés. En complément, suite à une demande de la DIR Nord qui souhaitait instrumenter et suivre le niveau de contamination au droit de plusieurs stockages de sel sur certains de ses CEI, une première évaluation des impacts des fondants routiers sur les milieux récepteurs a été conduite.

**Le premier projet** porte donc sur une évaluation, en laboratoire, du potentiel écotoxique d'un fondant routier à partir d'un échantillon (composant principal : NaCl) collecté auprès du Parc d'exploitation du CG02 basé à St-Quentin.

Deux stages ont été réalisés sur ce projet et complétés par le CETE Nord-Picardie à l'été 2013. Un balayage des effets des fondants routiers à partir des différents tests écotoxicologiques réalisés au CETE Nord-Picardie a été conduit par T. Mansuy. Suite à ce stage, il a été décidé de privilégier la cible « milieu aquatique » en travaillant sur des algues unicellulaires *Pseudokirschneriella subcapitata* et *Chlorella vulgaris*. Ces organismes sont intéressants puisqu'ils sont à la base des écosystèmes aquatiques. Ils sont par ailleurs classiquement utilisés en écotoxicologie pour évaluer le potentiel écotoxique des substances chimiques.

**Le second projet** fournit de premiers éléments quant à l'impact du stockage des fondants routiers sur les sols et les eaux souterraines de deux CEI de la DIR Nord.

---

## Protocoles expérimentaux

**Tests de germination** L'objectif de l'essai de germination est d'évaluer l'impact d'un polluant sur la germination et la croissance de végétaux supérieurs.

Les essais peuvent être menés selon deux méthodes :

- des graines semées dans un sol potentiellement pollué
- des graines semées dans un sol témoin et arrosées avec un liquide contenant un polluant.

Les essais réalisés au CEREMA Dter Nord-Picardie de Saint-Quentin (ex CETE) sont menés selon la norme NF ISO 11269-2 :

- NF ISO 11269-2 Mars 2006 – Qualité du sol – Détermination des effets polluants sur la flore du sol – Partie 2 : Effets des substances chimiques sur l'émergence et la croissance des végétaux supérieurs.
- NF ISO 11269-2 Mars 2012 – Qualité du sol – Détermination des effets polluants sur la flore du sol – Partie 2 : Effets des sols contaminés sur l'émergence et la croissance des végétaux supérieurs.

- Les essais de germination réalisés par le CEREMA Dter Nord-Picardie à Saint-Quentin s'appuient également sur d'autres normes :

Type d'essai	Norme
Mesure de pH de Sol	NF ISO 10390 – Mai 2005
Échantillonnage et conservation	NF ISO 10381-6 – Juin 2009 NF 10381-2 – Mars 2003
Perte au feu	NF EN 15169 – Mai 2007
Séchage à l'air d'un échantillon de sol	NF ISO 11464 – Décembre 2006

### Test de croissance algale

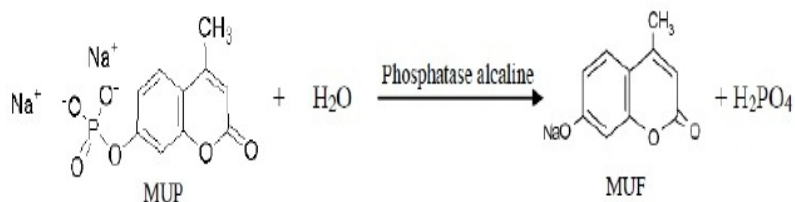
L'objectif de l'essai est d'évaluer l'**inhibition de la croissance d'algues vertes unicellulaires** par des substances et des mélanges contenus dans l'eau ou par des eaux résiduaires (norme NF EN ISO 8692). Dans cette étude, les essais ont été conduits conformément à cette norme en utilisant *Pseudokirchneriella subcapitata* cultivée en milieu ISO. En complément, des essais ont également été conduits en utilisant *Chlorella vulgaris* ainsi qu'en modifiant le milieu de culture (type AFNOR). Les modifications portent sur les teneurs des différents nutriments qui sont différentes entre le milieu ISO et le milieu AFNOR.

### Test sur l'activité phosphatase alcaline (APA)

De premiers essais exploratoires ont été menés dans le cadre du stage de T. Mansuy sur l'effet du sel sur l'activité phosphatase alcaline. L'**inhibition de la phosphatase alcaline** est utilisée pour développer des bioessais permettant de mettre en évidence des métaux lourds. Dans l'optique d'évaluer à terme, l'effet d'eaux de ruissellement d'origine routière, il semblait donc intéressant de compléter les essais actuellement menés par des essais testant NaCl comme toxique.

La méthyl umbelliféryl phosphate (MUP) est le substrat fourni à l'algue pour que sa phosphatase la dégrade et forme de la Méthyl umbelliférone (MUF), un produit qui entre en fluorescence à une certaine longueur d'émission (excitation 355nm, émission 460nm). La détection de cette fluorescence va nous permettre de doser l'apparition du produit de la réaction enzymatique et ainsi d'estimer l'activité de l'enzyme.

Pour plus de détails sur le protocole, on consultera le rapport de stage de T. Mansuy.



Réaction enzymatique de la phosphatase alcaline

# Effets du NaCl

## Essais préliminaires

---

### Stages réalisés

En 2013, Éléonore ADA NKOLO a mené au sein du groupe Eaux et Sols - Site de Saint-Quentin un stage intitulé « Tests d'inhibition de la croissance des algues vertes exposées au chlorure de sodium » dans le cadre de sa Licence Professionnelle "Métiers de l'Eau".

Ce stage est venu enrichir les résultats obtenus par Thibaut MANSUY en 2012.

---

### Synthèse des résultats des deux stages

**Test de germination** Deux essais (exposition aiguë et chronique) portant sur l'effet du sel sur la germination et la croissance du blé ont permis de mettre en évidence de légères différences, entre végétaux exposés et végétaux témoins, sur les masses fraîches collectées au terme de l'essai.

Par ailleurs, des apports d'eau plus importants entre pots contaminés et pots témoins ont été constatés. Ces différences pourraient s'expliquer par une modification de la capacité d'absorption de l'eau liée à la présence de sel dans le sol. Cette hypothèse devra être confirmée par de nouveaux essais.

**Test sur l'activité phosphatase alcaline (APA)** Les premiers essais tendent à montrer une inhibition de l'APA et de sa vitesse de réaction pour des algues exposées au sel. Il semble également que la concentration la plus faible en sel s'accompagne de l'inhibition la plus élevée.

**Test de croissance algale** Les premiers essais (Thibaut MANSUY) ont permis de mettre en évidence une inhibition de la croissance des algues exposées à des gammes croissantes de fondants routiers.

Lors du stage d'E. ADA NKOLO, les essais sur la croissance des algues (*Pseudokirchneriella subcapitata* et *Chlorella vulgaris*) confirment un impact de NaCl. Toutefois, ces résultats doivent être relativisés à la lumière des concentrations (4 à 5 g/l) utilisées pour atteindre la concentration d'effet à 50 % (CE50). En effet, il conviendrait de vérifier si de telles concentrations sont cohérentes par rapport à celles mesurées dans les eaux de ruissellement routier.

## Évaluation du potentiel toxique du NaCl sur le compartiment aquatique

---

**Tests de croissance algale** Des essais supplémentaires sur *Pseudokirchneriella subcapitata* et *Chlorella vulgaris* ont été menés à l'été 2013 pour confirmer les résultats obtenus lors des stages.

Concernant *Chlorella vulgaris*, les essais confirment ceux obtenus lors du stage d'E. ADA NKOLO, à savoir une forte variabilité de la CE50

---

déterminée sur cet organisme. Ce résultat n'est pas incohérent puisque *Chlorella vulgaris* n'est pas l'algue unicellulaire recommandée par la norme.

Concernant *Pseudokirchneriella subcapitata* (PS), les essais complémentaires confirment les CE50 obtenues lors du stage de E. ADA NKOLO soit une CE50 d'environ 5g/l pour les PS cultivées en AFNOR et de 4,5g/l pour les algues cultivées en ISO.

NB : pour les essais réalisés à l'été 2013, deux CE50 ont pu être déterminées. Ceci peut être expliqué par le fait que les inhibitions observées sont proches de la CE 50 sur une partie de la gamme testée.

<b>Essais de croissance sur <i>Chlorella vulgaris</i></b>	<b>CE 50 (g/l) (milieu AFNOR)</b>	<b>CE 50 (g/l) (milieu ISO)</b>
Essai 1 (Stage E. ADA NKOLO)	0,73	Pas de CE50
Essai 2 (Stage E. ADA NKOLO)	3,50	6,56
Essai 3 (Stage E. ADA NKOLO)	4,58	3,56
Essai du 22/08/2013	Pas de CE50	--
Essai du 23/08/2013	--	Pas de CE50

<b>Essais de croissance sur <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i></b>	<b>CE 50 (g/l) (milieu AFNOR)</b>	<b>CE 50 (g/l) (milieu ISO)</b>
Essai 1 (Stage E. ADA NKOLO)	5,08	4,74
Essai 2 (Stage E. ADA NKOLO)	5,48	4,27
Essai du 19/07/2013	--	Entre 3,50 et 5,00
Essai du 08/08/2013	5,00	--
Essai du 09/08/2013	--	Entre 4,25 et 4,75

---

## Conclusion

Les essais réalisés montrent donc un impact du sel sur les algues *Pseudokirchneriella subcapitata* et *Chlorella vulgaris*. Toutefois, le niveau de toxicité reste modéré.

Par ailleurs, il conviendrait de disposer de données concernant la concentration en sel des eaux de ruissellement routier afin de pouvoir les comparer aux CE50 présentées dans cette synthèse et conclure sur la dangerosité et le risque des eaux de ruissellement en considérant leur concentration en NaCl.

# Stockage de fondants routiers

## Contexte

### Introduction

Dans le cadre de l'action 1 "Évaluation des impacts des stockages de fondants routiers sur les milieux", des prélèvements d'eaux (piézomètres) et de sols à proximité des stockages de sels ont été réalisés à l'été 2012. Des essais de germination ont ensuite été menés pour évaluer leur toxicité.

### Présentation des sites d'études

**Deux CEI** Les essais ont été menés à partir d'échantillons prélevés sur deux CEI dans le Pas-De-Calais :

- Dourges,
- Escoeuilles.

Ces deux sites ont les caractéristiques suivantes :

	<b>Drainage</b>	<b>Dalle béton</b>	<b>couverture</b>
<i>DOURGES</i>	NON	NON	NON
<i>ESCOEUILLES</i>	OUI	OUI	OUI

Le CEI de Dourges est bâti sur un remblai composé de mâchefers d'incinération d'ordures ménagères. Les échantillons de sols sont visuellement très hétérogènes. Ces différences de structure et de nature sont à prendre en compte car elles peuvent influencer la germination au même titre qu'une concentration chimique.

Le CEI d'Escoeuilles est aménagé différemment du site de Dourges. Sur ce site, les fondants routiers sont stockés sur une dalle béton dans des boxes couverts et les eaux sont drainées vers des bassins.



Stockage des fondants routiers à Escoeuilles

**Échantillons** Sur les deux plates-formes les échantillons prélevés sont de deux types :

- Sols
- Eaux de piézomètre

La numérotation des échantillons est la suivante :

	<b>Eau de piézomètre</b>	<b>Sol</b>
<i>DOURGES</i>	PZ1, PZ2 et PZ3	T1, T2, T3, T5, T6, T7 et Témoin
<i>ESCOEUILLES</i>	PZ1, PZ2 et PZ3	S1, S3, S5, S7, S9 et Témoin

Sur les deux sites le point de référence est PZ1 situé en amont hydraulique.

Les échantillons de sols ont été prélevés en surface à la bêche.

La profondeur de prélèvement des piézomètres est reprise dans le tableau ci-dessous.

<b>Site</b>	<b>PZ1</b>	<b>PZ2</b>	<b>PZ3</b>
<i>DOURGES</i>	9	9	9
<i>ESCOEUILLES</i>	11	11	11

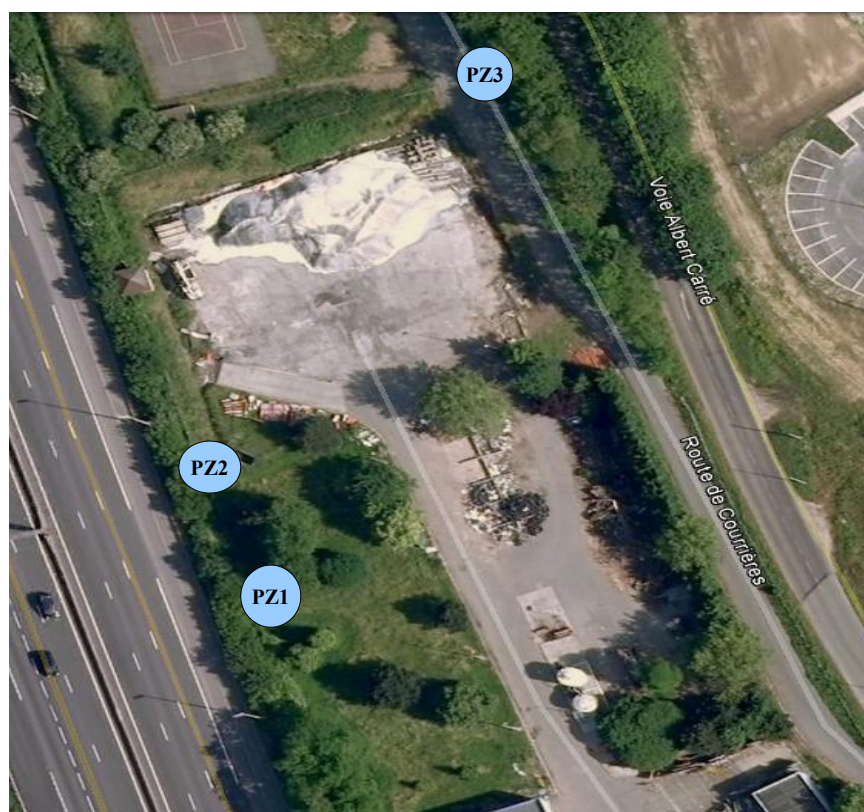
*Profondeur des prélèvements (m) (par rapport à la surface)*



**Implantations** Les illustrations suivantes fournissent la localisation des prélèvements de sol et des piézomètres sur les deux sites.



**Implantation des points de prélèvement de sols à Douges**



**Implantation du réseau de piézomètres à Douges**





Implantation des points de prélèvement d'ESCOEUILLES

---

## Essais

**Les essais de germination** sont menés selon la norme 11269-2 dans deux conditions d'arrosage.

- Les échantillons de sols potentiellement pollués sont arrosés à l'aide d'eau distillée : DOURGES (essais de janvier 2013) et ESCOEUILLES (essais de juin 2013).
- Les échantillons d'eau de piézomètre potentiellement pollués sont utilisés pour arroser le sol de référence : DOURGES (essais de janvier 2013).

**Nota Bene** Suite à l'essai de germination utilisant les eaux de piézomètres de DOURGES pour l'arrosage, l'absence d'effets significatifs observés confirme les résultats obtenus lors du stage de Thibaut MANSUY sur l'absence d'impact d'eau chargée en sel pour les concentrations testées sur la germination du blé.

Ces deux séries d'essais nous ont conduit à ne pas réaliser d'arrosage pour le site d'ESCOEUILLES avec l'eau des piézomètres et de ne mener que des essais sur sols.

# Résultats des essais de germination

## Caractérisation physico-chimique des sols

**Définitions** **Coefficient (ou capacité) de rétention d'eau** : un échantillon de sol est volontairement gorgé d'eau à son maximum. Le coefficient de rétention d'eau ( $C_w$ ) est la masse d'eau contenue dans ce sol ( $M_h$ ) divisée par la masse de sol sec ( $M_d$ ). Il peut être multiplié par 100 pour l'exprimer en pourcentage.

$$C_w = (M_h / M_d) \times 100$$

Ce coefficient est mesuré afin de définir les conditions d'arrosage des plants selon la norme NF ISO 11269-2 Mars 2012 (soit entre 0,4 et 0,6 $C_w$ )

**Teneur pondérale en eau** : La teneur pondérale en eau est basée sur le même principe que le coefficient de rétention d'eau c'est-à-dire qu'il s'exprime par une masse d'eau contenue dans ce sol divisée par sa masse sèche. Toutefois, le sol n'est pas volontairement gorgé d'eau car l'objectif est de mesurer la quantité d'eau qu'il contient lors du prélèvement.

**Teneur en matière organique** : La teneur en matière organique s'exprime par la masse de matière organique contenue dans un échantillon divisée par la masse sèche de cet échantillon.

Les protocoles de mesure des paramètres cités ci-dessus sont joints en annexe.

### Dourges

	pH	Coef. de rétention d'eau	Teneur en matière organique	Concentration en Chlorures en mg/kg
Témoïn	7,9	42,00%	10,25%	75
T1	7,4	40,00%	6,93%	34 485
T2	8,2	32,00%	8,46%	2 415
T3	8,3	17,00%	10,93%	9 283
T5	8,4	23,00%	9,52%	6 812
T6	8,4	18,00%	5,78%	3 531
T7	8,5	32,00%	4,95%	29 946

Tableau des analyses physico-chimiques des sols de DOURGES

### Escoeuilles

	pH	Coef. de rétention d'eau	Teneur en matière organique	Concentration en Chlorures en mg/kg
Témoin	7,3	20,50 %	10,5 %	4 175
S1	7,5	25,00 %	10,3%	7 280
S3	7,3	19,00 %	6,3 %	172
S5	7,3	18,20 %	4,6 %	98
S7	7,2	21,80 %	4,5 %	25
S9	7,2	21,50 %	4,7 %	22

Tableau des analyses physico-chimiques des sols d'ESCOEUILLES

### Sol de référence

pH	Coef. de rétention d'eau	Teneur en matière organique	Concentration en Chlorures en mg/kg
7,4	24,30%	1,00%	0

---

## Caractérisation physico-chimique des eaux de piézomètres

### Dourges

	pH	Sulfates (mg/l)	Chlorures (mg/l)
PZ1	7,2	115,63	123,71
PZ2	6,9	138,63	156,34
PZ3	6,6	165,01	159,20

Tableau des analyses physico-chimiques des eaux de piézomètres de DOURGES

### Escoeuilles

	pH	Sulfates (mg/l)	Chlorures (mg/l)
PZ1	6,95	0,76	23,0
PZ2	6,9	0,33	68,3
PZ3	6,75	0,47	55,7



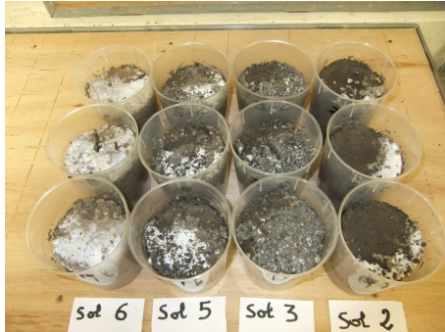
Tableau des analyses physico-chimiques des eaux de piézomètres d'ESCOEUILLES

## Illustrations

Ci-dessous, quelques photographies des essais.

### **DOURGES, essais sur sols**

Photos au dernier jour de l'essai le 29 janvier 2013

	<p>Croissance supérieure dans les pots témoin grâce à une teneur en matière organique supérieure</p>
	<p>En comparaison du témoin et de la référence (cf photo ci-dessus), quelques graines germées issues des sols T1 et T7.</p>
	<p>Aucune graine germée et une pellicule blanchâtre en surface.</p>

**DOURGES, essais  
sur eaux de  
piézomètres**

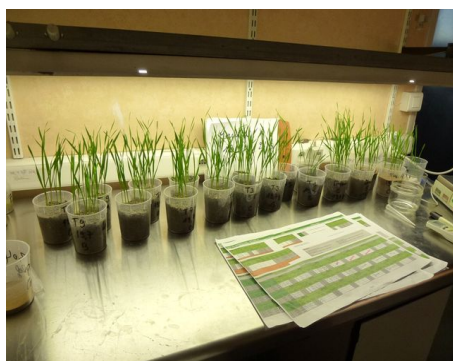
Photo au dernier jour de l'essai le 31 janvier 2013



Référence, PZ1, PZ2 et PZ3

**ESCOEUILLES,  
essais sur sols**

Photos au dernier jour de l'essai le 18 novembre 2013



Vue d'ensemble des plants



Plants issus des pots A, B et C du  
triplicat de sol S1

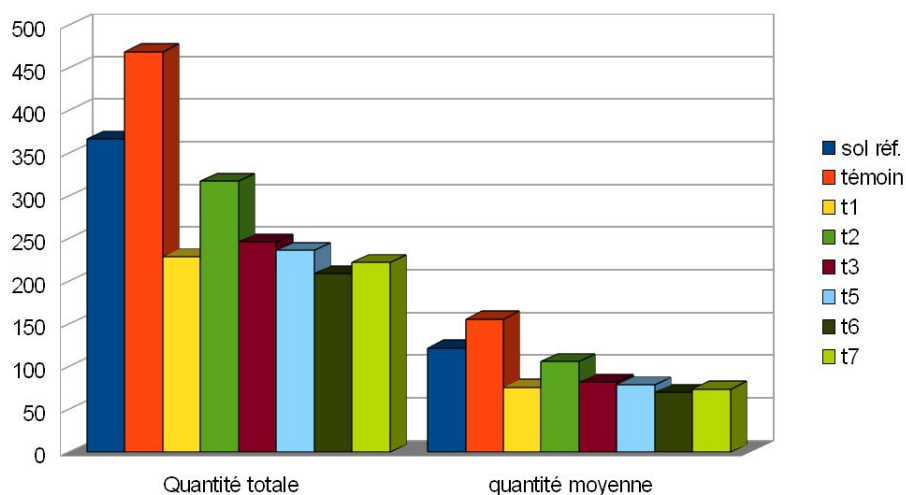
# Exploitation des résultats

## Sols de DOURGES

**Quantité d'eau absorbée** La quantité d'eau consommée est la quantité d'eau qu'il faut ajouter chaque jour dans chaque pot pour refaire l'appoint au niveau des 60 % de capacité de rétention d'eau du sol.

Ci-dessous, tableau des quantités d'eau absorbées pendant la durée de l'essai (en grammes).

	Total pour chaque triplicat	Moyenne par triplicat
<i>Sol de référence</i>	366,5	122,2
<i>Sol témoin</i>	469,0	156,3
<i>t1</i>	229,1	76,4
<i>t2</i>	316,7	105,6
<i>t3</i>	245,9	82,0
<i>t5</i>	236,3	78,8
<i>t6</i>	208,7	69,6
<i>t7</i>	222,1	74,0



**Fig.1** Quantité d'eau totale absorbée pour chaque triplicat et moyenne par triplicat (en grammes)

Le témoin est le plus grand consommateur d'eau (469 g) puis la référence (366,5 g).

A l'inverse, il n'y a pas de différence marquée entre les sols T1 et T7 (où des plants ont poussé) et les sols T2, T3, T5, et T6 (aucune germination constatée). Le sol T2 pour lequel aucune germination n'a été observée a nécessité des quantités d'eau supérieures aux sols T1 et T7 pour l'arrosage.

Sur ce site, la nature et la structure des différents échantillons de sol peut expliquer les différences de consommation en eau observées.

**Masse de matière végétale** La matière végétale récupérée concerne uniquement les parties aériennes.  
 Les masses sont données en milligrammes.  
 Les moyennes sont réalisées sur les résultats d'un même triplicat.  
 Les totaux sont la somme des résultats d'un même triplicat.

	Moy. MF	T MF	Moy. MS	T MS	Moy. MF/Plant	Moy. MS/Plant	Moy. TE
Sol de référence	1 395	4 186	173	520	156	19	0,88
Sol témoin	3 339	10 018	319	958	358	34	0,90
T1	377	1 131	52	155	144	20	0,87
T2, T3, T5, T6	--	--	--	--	--	--	--
T7	581	1 743	84	251	135	19	0,86

MF = matière fraîche, MS = matière sèche, T = Total, Moy. = moyenne, TE = teneur en eau.

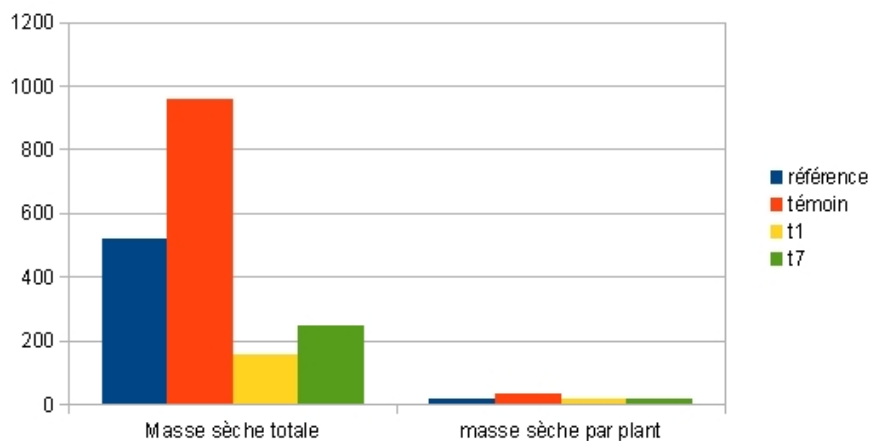


Fig. 2 Quantité de matière sèche produite lors de l'essai (en mg)

Le sol témoin produit :

- La plus grande quantité de masse de matière sèche totale (deux fois plus que le sol de référence),
- Les plants les plus lourds en masse moyenne de matière sèche (50 % de plus que le sol de référence).

Les sols T1 et T7 produisent :

- Deux à trois fois moins de matière sèche totale que le sol de référence et quatre à six fois moins que le sol témoin,
- Des plants dont la masse moyenne de matière sèche est équivalente aux plants du sol de référence et presque 50 % inférieure à celle des plants du sol témoin.

**Nombre de plants** Nombre de plants vivants comptés à la fin de l'essai.

	<b>Triplicat A</b>	<b>Triplicat B</b>	<b>Triplicat C</b>
<i>Sol référence</i>	10	8	9
<i>Sol témoin</i>	9	9	10
<i>Sol T1</i>	4	1	2
<i>Sol T7</i>	4	5	4
<i>Sols T2, T3, T5, T6, T7</i>	0	0	0

**Vitesse d'apparition des germes** Sur les sols T2, T3, T5 et T6 aucune germination n'a été observée.

<b>Sols référence et témoin</b>	<b>Sols T1 et T7</b>
Le maximum de graines germées est atteint à J7/J8	Le maximum de graines germées est atteint à J14 et J21.

**Remarques**

	<b>Observations</b>
<i>Référence</i>	Nécrose sur la pointe des feuilles en fin d'essai
<i>Témoin</i>	Les plants commencent à verser légèrement en fin d'essai. Les plants sont plus grands que ceux du sol de référence.
<i>T1 et T9</i>	Les plants sont plus courts que ceux du sol de référence mais semblent plus massifs Les plants semblent en mauvaise santé (couleur foncée au pied).
<i>T2, T3, T5, T6, T7</i>	Une pellicule blanchâtre recouvre la surface du sol dans chaque pot.

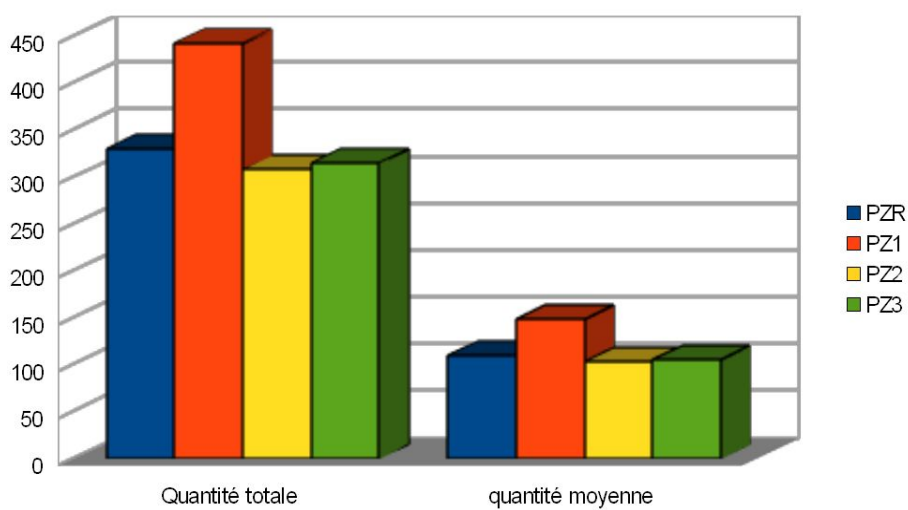


---

## Eaux de piézomètres de DOURGES

**Quantité d'eau consommée** Quantité d'eau absorbée pendant la durée de l'essai (en grammes).

	Total pour chaque triplicat	Moyenne par triplicat
PZR	330	110
PZ1	443	148
PZ2	308	103
PZ3	315	105



Les plants arrosés avec l'eau du piézomètre PZ1 consomment 25 à 30 % d'eau en plus.

### Masse de matière végétale

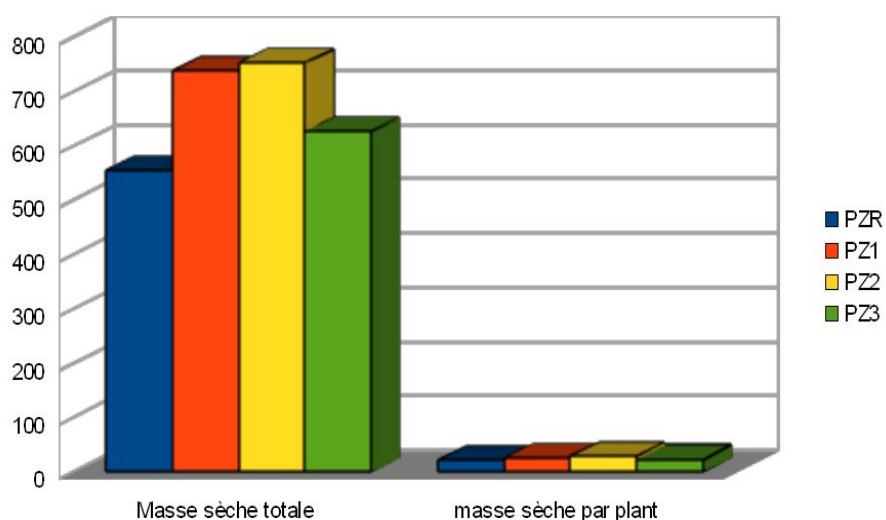
La matière végétale récupérée concerne uniquement les parties aériennes.

Les masses sont données en milligrammes.

Pour chaque triplicat ont été calculées la moyenne des trois pots et la somme des résultats des trois pots.

	Moy. MF	T MF	Moy. MS	T MS	Moy. MF/Plant	Moy. MS/Plant	Moy. TE
PZR	1 365	4 094	185	555	152	20	0,86
PZ1	1 878	5 634	246	738	194	25	0,87
PZ2	1 912	5 735	251	753	213	28	0,87
PZ3	1 669	5 007	209	627	185	23	0,87

MF = matière fraîche, MS = matière sèche, T = Total, Moy. = moyenne, TE = teneur en eau.



La masse de matière sèche totale et par plant est supérieure pour PZ1, PZ2 et PZ3 par rapport à la référence PZR (10 à 25 %).

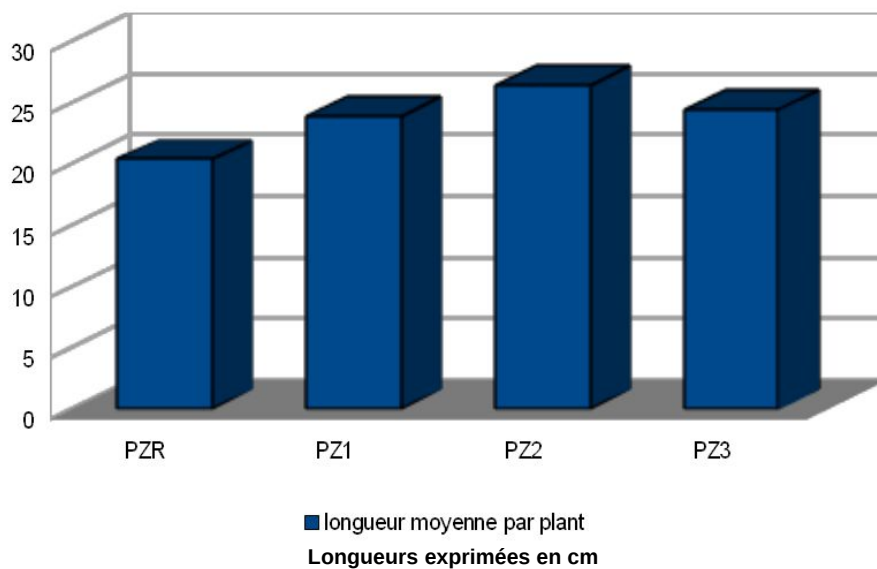
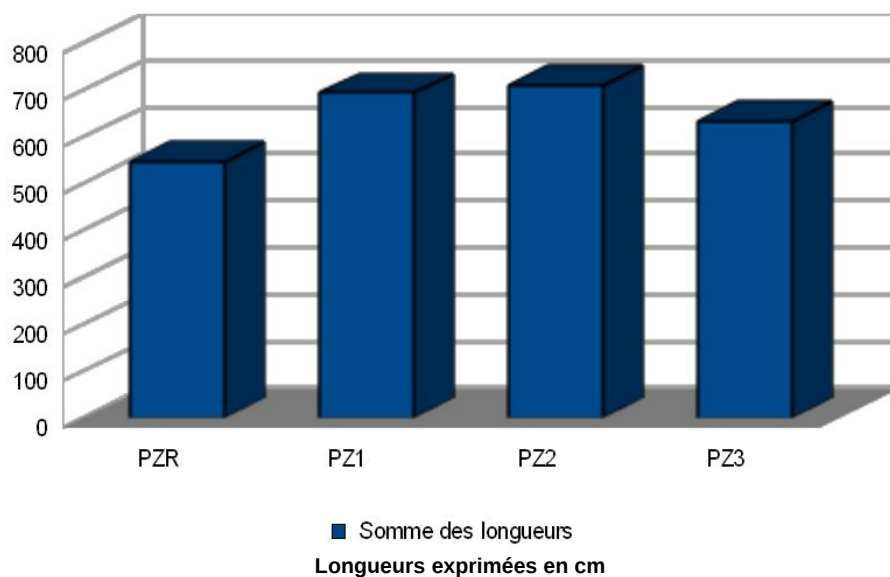
PZ1 et PZ2 se distinguent par des masses de matière sèche plus élevées que PZ3.

Les mêmes remarques sont valables pour la masse de matière fraîche.

Les teneurs en eau sont équivalentes pour les quatre essais PZR, PZ1, PZ2 et PZ3 soit environ 87 %.

**Longueurs des parties aériennes**

À la récolte la longueur de la partie aérienne de chaque plant a été mesurée.



Pour les essais arrosés avec l'eau des piézomètres PZ1, PZ2 et PZ3 on constate que les longueurs de parties aériennes de plants sont supérieures à celles obtenues avec la référence.

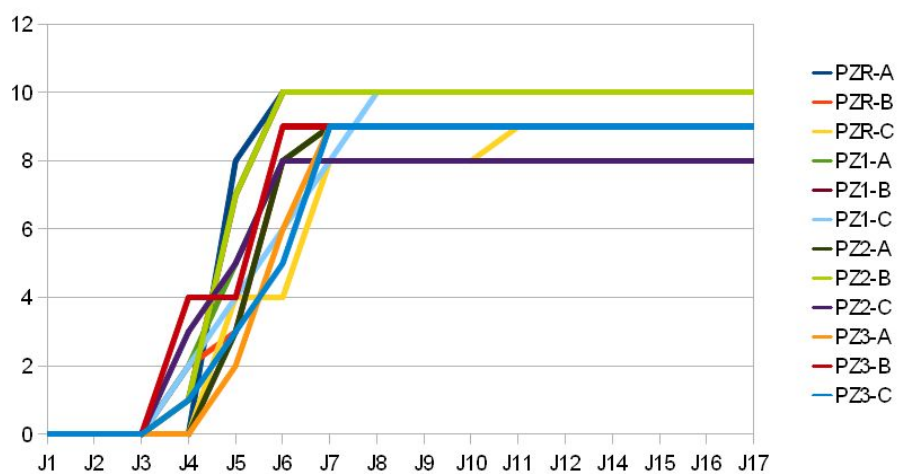
Les résultats les plus élevés sont obtenus avec l'eau du piézomètre PZ2 : longueur totale et longueur moyenne par plant supérieures à PZ1 et PZ3.

**Nombre de plants** Nombre de plants vivants comptés à la fin de l'essai :

	<b>Triplicat A</b>	<b>Triplicat B</b>	<b>Triplicat C</b>
<i>PZR</i>	10	8	9
<i>PZ1</i>	9	10	10
<i>PZ2</i>	9	10	8
<i>PZ3</i>	9	9	9

Le nombre de plants obtenus est comparable sur l'ensemble des pots.

**Vitesse d'apparition  
des germes**



L'ensemble des germinations se produit entre J3 et J7

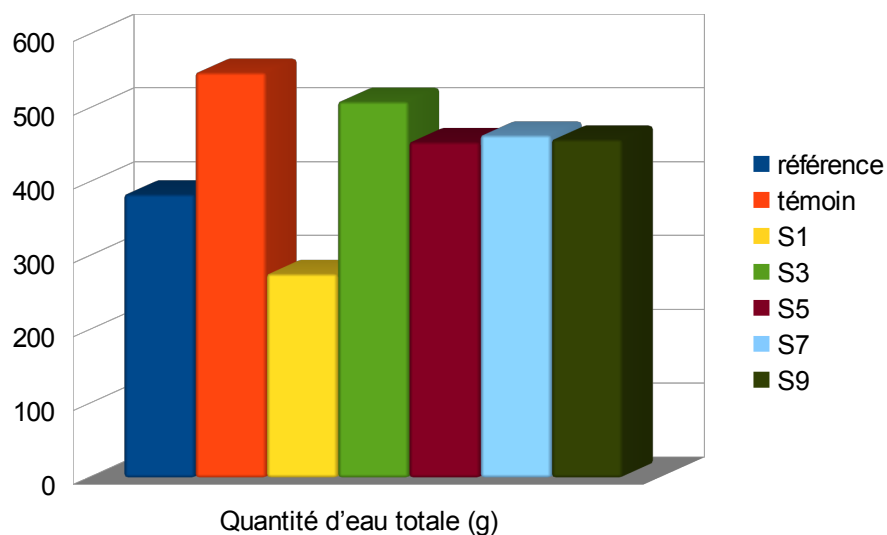
**Observations** Aucune remarque particulière.

## Sols d'ESCOEUILLES

**Quantité d'eau consommée** Pour chaque sol les résultats des triplicats ont été cumulés.

	Total des triplicats	Moyenne par plante
Sol de référence	384,3	12,8
Sol témoin	549,2	20,3
S1	276,5	16,2
S3	509,8	17,5
S5	455,2	15,7
S7	464,2	16,0
S9	458,6	16,9

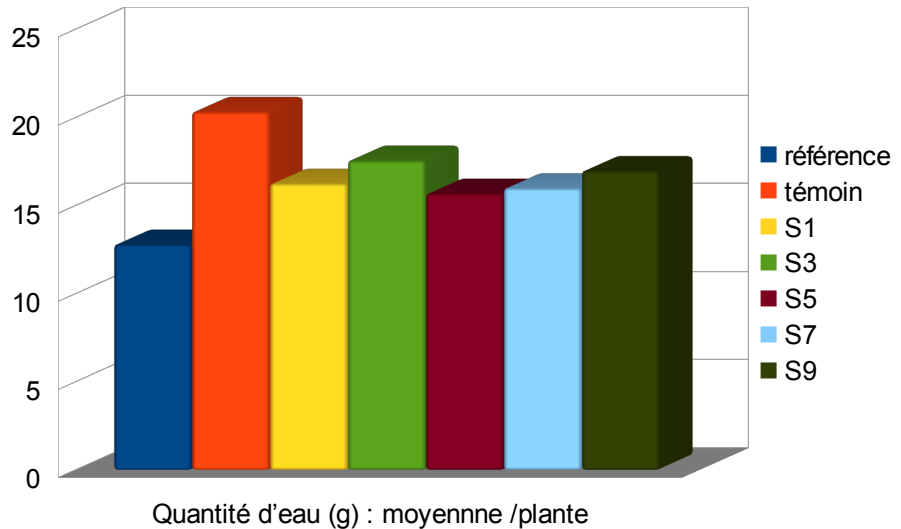
Quantité d'eau consommée pendant la durée de l'essai (en grammes)



Quantité d'eau totale consommée pour chaque sol (triplicats cumulés)

Trois cas peuvent être observés :

- Le témoin est le plus grand consommateur d'eau (549g) puis S3 (510g).
- S5, S7 et S9 sont autour de 460g (16 % de moins que le témoin et 11 % pour S3).
- S1 a une consommation d'eau moins importante qui se démarque avec 276,5g soit 50 % de celle du témoin, 45 % de S3 et 40 % de S5, S7 et S9.



Quantité d'eau totale consommée en moyenne par plante et par sol

La quantité d'eau consommée et rapportée à une moyenne par plante permet d'observer que sur le témoin, la consommation est 15 % à 29 % plus importante que sur les autres sols (S1 : 24,5 %, S3 : 15 %, S5 : 29 %, S7 : 28 %, S9 : 19 %)

**Masse de matière végétale**

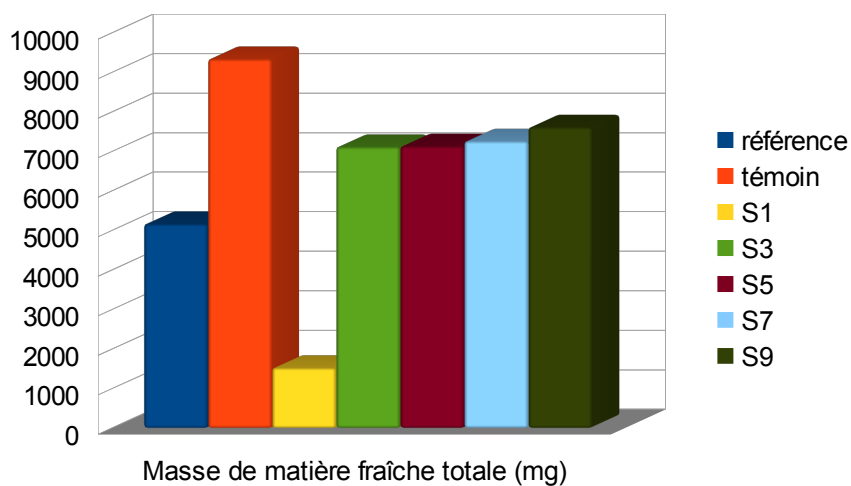
La masse de matière végétale mesurée concerne uniquement les parties aériennes.

Les masses sont données en milligrammes.

Les moyennes et les totaux sont réalisés sur les résultats d'un même triplicat.

	Mat. fraîche totale	Mat. fraîche Moy/plante	Mat. sèche totale	Mat. sèche Moy/plante	Moy. TE
référence	5 168	172	699	23	86 %
témoin	9 343	346	1 072	39	89 %
S1	1 528	90	239	14	84 %
S3	7 118	245	889	30	88 %
S5	7 138	246	824	28	88 %
S7	7 262	250	806	27	89 %
S9	7 616	282	802	29	89 %

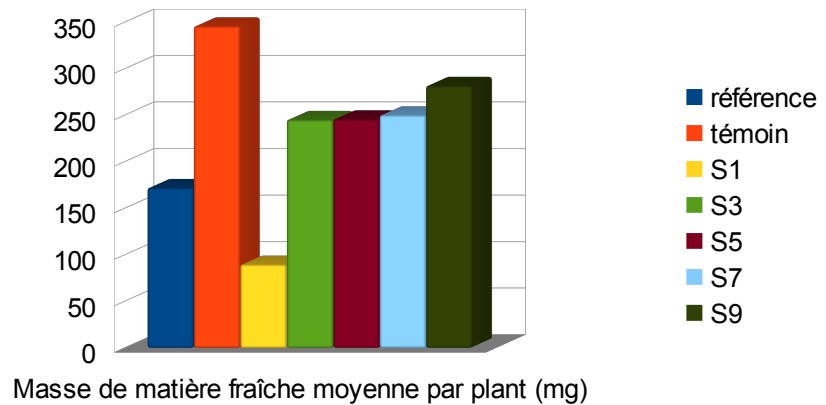
Moy. = moyenne, TE = teneur en eau des plantes.



Quantité de matière fraîche totale par sol (mg)

Trois cas peuvent être distingués :

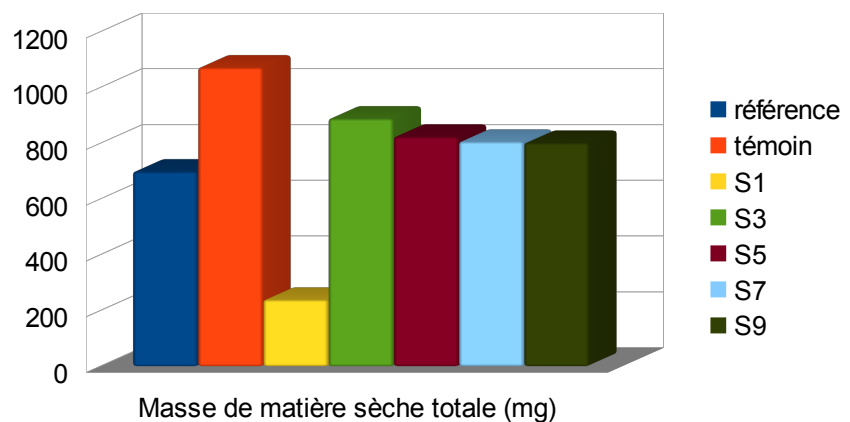
- S3, S5, S7 et S9 : de l'ordre de 7 à 7,5 g,
- Témoin : 9,3 g soit 24 % à 33 % de plus que S3, S5, S7 et S9,
- S1 : 1,528 g soit 5 à 6 fois moins que les autres sols.



Quantité de matière fraîche moyenne par plante et par sol (mg)

Trois cas peuvent être distingués :

- S3, S5, S7 et S9 : autour de 250 mg par plante,
- Témoin : 346 mg soit 40 % de plus que S3, S5, S7, S9,
- S1 : 90 mg soit presque 3 à 4 fois moins que les autres sols.

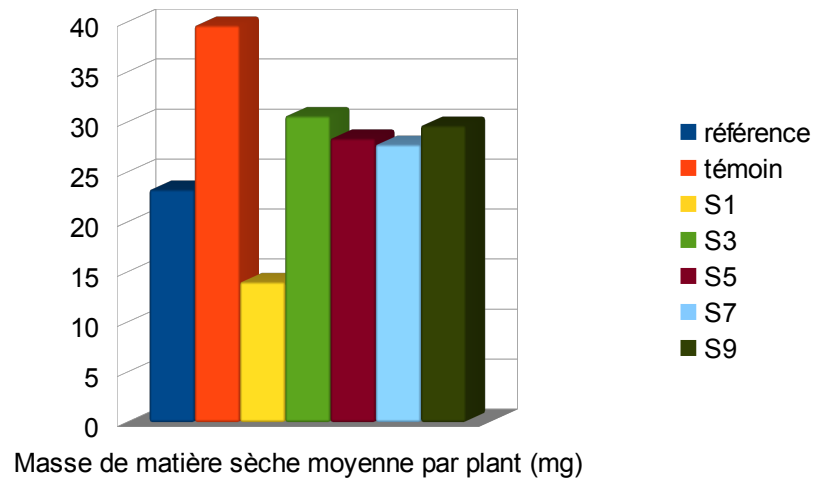


Quantité de matière sèche totale par sol (mg)

Trois cas peuvent être distingués :

- S3, S5, S7 et S9 : autour de 800-850 mg,
- témoin : 1,072 g soit 25 à 30 % de plus que S3, S5, S7 et S9,
- S1 : 239 mg soit 3,5 à 4,5 fois moins que les autres sols.





Quantité de matière sèche moyenne par plante et par sol (mg)

Trois cas peuvent être distingués :

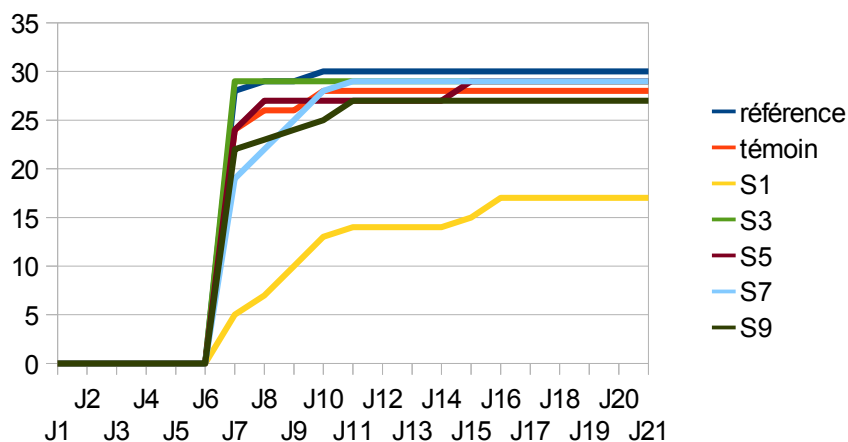
- S3, S5, S7 et S9 : autour de 30 mg,
- témoin : 39,7 mg soit de 29 % à 43 % de plus que S3, S5, S7 et S9,
- S1 : 14,1 mg soit 2 à 3 fois moins que les autres sols.

**Nombre de plants** Ci-dessous, nombre de plants vivants comptés à la fin de l'essai. Un triplicat est composé de trois pots : A, B et C

	Pot A	Pot B	Pot C
Sol référence	10	10	10
Sol témoin	10	9	9
S1	7	6	4
S3	10	10	9
S5	10	9	10
S7	10	10	9
S9	10	10	7

Chaque pot a au moins 7 plantes germées (70 %) sauf les pots B et C de S1. S1 se distingue par le faible nombre total de graines germées : 17 sur 30 possibles.

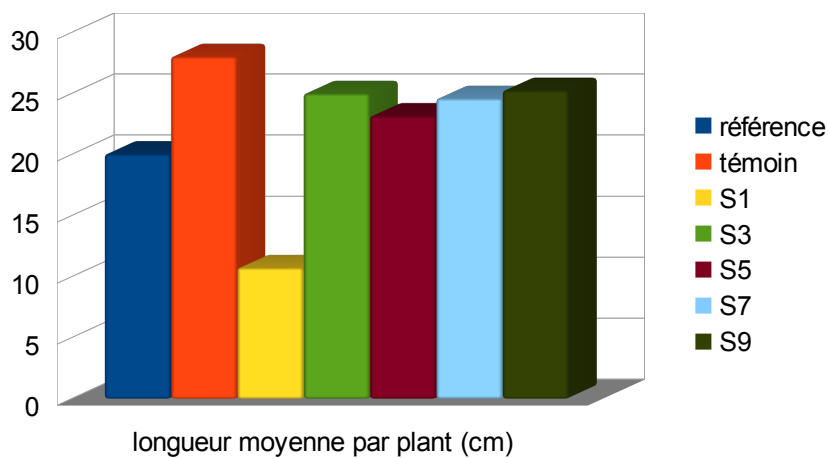
**Émergence** L'apparition du coléoptile (émergence) en fonction du temps est représentée sur la figure suivante :



Émergence sur 21 jours

S1 se distingue des autres sols par une émergence plus lente et inférieure en nombre de germes.

**Longueur des parties aériennes** La longueur des parties aériennes a été mesurée au terme des 21 jours de l'essai.



Longueur moyenne par plant et par sol des parties aériennes (cm)

Trois cas peuvent être distingués :

- S3, S5, S7 et S9 : une longueur de tige autour de 24 cm
- témoin : 28 cm
- S1 : 11 cm soit 40 % de la longueur du témoin.

# Conclusion

---

## DOURGES, essai sur sols

**Sols T2, T3, T5, T6** Aucune germination n'a été possible dans ces sols. La pellicule blanchâtre visible à la surface des pots laisse penser à une grande quantité de sel qui cristallise suite aux arrosages. L'analyse physico-chimique indique d'ailleurs pour ces sols une concentration de l'ordre de 2 à plus de 9 g/kg (page 10). Ces sols présentent une structure argileuse ainsi qu'un aspect faisant penser à des résidus de MIOM (Mâchefers d'Incinération d'Ordures Ménagères).

**Sols T1 et T7** Sur ces sols, peu de matière végétale s'est développée. Quelques graines ont germé tardivement par rapport au témoin et à la référence. Les plants obtenus semblent malades (foncés à la base). Ils sont de taille un peu plus faible que la référence mais de masse plus importantes. Ces sols produisent deux à trois fois moins de matière sèche totale que le sol de référence et quatre à six fois moins que le sol témoin. La masse sèche moyenne par plant est toutefois égale à celle obtenue pour le sol de référence. On notera que la concentration en chlorures est de l'ordre de 30 à 34 g/kg soit 3 à 15 fois plus que celle des sols T2, T3, T5, T6.

**Sol témoin** Ce sol présente un aspect beaucoup plus aéré que les sols T1 à T7 et une concentration en chlorures de 75 mg/kg de 30 à 400 fois inférieure à tous les autres sols. La masse de matière sèche obtenue sur ce sol est 50 % plus importante que sur le sol de référence (par plant et en totalité de matière produite). La vitesse de germination est comparable à celle du sol de référence. En fin d'essai, on observe la verse de quelques tiges.

**Conclusion** Les sols T1 à T7 rendent la germination très difficile voire impossible. La germination s'est produite tardivement et les plants semblent malades. La masse sèche de chaque plant est toutefois comparable à celle des plants issus d'un sol de référence. Les premiers essais sur des sols prélevés sur un stockage de fondants routiers à DOURGES ont montré que la germination et la croissance des végétaux dans les sols du CEI est nulle voire très faible par rapport aux sols témoin (sol témoin à proximité du site) et référence (sol reconstitué). Cependant, le CEI de DOURGES est construit sur un remblai composé de mâchefers d'incinération d'ordures ménagères pouvant contenir d'autres polluants qui influenceraient l'essai. Par ailleurs, la structure du sol n'est pas favorable à la germination des végétaux. En conclusion, il est difficile d'interpréter les résultats obtenus et de conclure à un impact des chlorures au regard de l'hétérogénéité des paramètres qui interviennent :

- structure différente entre les sols (notamment le sol témoin),
- germination possible dans T1 et T7 malgré une concentration plus forte en chlorures que T2, T3, T5, T6,
- une pollution probable et hétérogène issue des MIOM.

---

## DOURGES, essai avec l'eau des piézomètres

**Ce qui est comparable** Les paramètres suivants sont identiques pour PZR, PZ1, PZ2 et PZ3 :

- vitesse de germination,
- nombre de plants,
- les teneurs en eau.

**Ce qui est différent** Les différences suivantes peuvent être observées :

- PZ1 semble consommer un peu plus d'eau (hypothèses : feuilles et tiges plus grandes consommant davantage),
- PZ1,PZ2 et PZ3 produisent plus de matière sèche que PZR,
- PZ1,PZ2 et PZ3 produisent des plants de tailles plus grandes,
- PZ2 donne les plants les plus grands ainsi que la plus grande quantité de matière sèche.

**Plutôt une amélioration de la germination** Lors de cet essai une augmentation de la germination/croissance a été observée par rapport au sol de référence.

---

## ESCOEUILLES, essais sur sols

Les essais réalisés sur des échantillons de sols contenant de 20 à 170 mg/kg de chlorures n'ont pas permis de mettre en évidence un impact sur la germination.

A l'inverse, une inhibition de la germination/croissance a clairement été observée sur un échantillon de sol (S1) contenant 7280 mg/kg de chlorures à travers les paramètres suivants :

- vitesse de germination,
- nombre de plantes germées,
- quantité de matière sèche,
- longueur des parties aériennes.

---

## Synthèse

Ci-dessous, un tableau de synthèse sur les conclusions

	Conclusion
<i>Les sols</i>	<b>Des soupçons mais pas de conclusion possible quant à un éventuel effet du sel sur la germination. Seul un essai a permis de mettre en évidence une inhibition de la germination/croissance pour des concentrations en chlorures supérieures à 7g/Kg.</b>
<i>Les eaux de piézomètres</i>	<b>Pas d'inhibition observée.</b>

# Perspectives de travail

## Améliorer les connaissances sur les eaux de ruissellement routier

### Niveau de contamination des eaux de ruissellement par les fondants routiers

Avant de poursuivre les travaux sur l'évaluation des effets des fondants routiers sur les organismes, il semblerait pertinent de pouvoir disposer de données sur les concentrations moyennes des fondants routiers dans les eaux de ruissellement routier en fonction des secteurs géographiques (montagnes, façade océanique, ...).

Pour information, dans l'étude canadienne « Liste des substances d'intérêt prioritaire « Rapport d'évaluation de sels de voirie »<sup>1</sup>, les concentrations en chlorure dans la neige peuvent s'étendre de 0,1 g/l pour atteindre des pics à 18g/l. Or, il semble difficile de transposer ces données au contexte français sans vérification du fait de la différence de climat entre les deux pays.

Une capitalisation des analyses réalisées par les différentes sources MEDDE/CETE est à envisager.

## Évaluer les effets des fondants routiers sur les écosystèmes et optimiser les systèmes de traitement

### Évaluer la dangerosité des fondants routiers

Dans le cadre de la mise en œuvre d'une démarche d'évaluation des risques écologiques liés à l'utilisation des fondants routiers, la première étape vise à la caractérisation de la dangerosité de la source. Cette étape nécessite de disposer de données écotoxicologiques sur plusieurs niveaux trophiques (concentration de non effet prévisible) ainsi que des concentrations en fondants routiers dans les eaux de ruissellement.

Dans ce sens, la poursuite des bioessais pour une évaluation complète du potentiel écotoxique des fondants routiers devra donc être envisagée en parallèle à une étude bibliographique et/ou de terrain sur les niveaux de contamination des eaux de ruissellement.

### Étudier l'impact des fondants routiers sur les sols

La première cible environnementale peut, dans un certain nombre de cas, être le sol (systèmes d'assainissement type fossés enherbés, bassin d'infiltration). Il semble donc intéressant de pouvoir étudier l'impact des fondants routiers sur la structure et la chimie des sols.

En effet, il serait intéressant de compléter les connaissances sur l'impact des modifications de la concentration de certains paramètres tels que le sodium sur la capacité d'absorption/rétention en eau qui peut indirectement impacter les organismes du sol.

### Améliorer l'efficacité des ouvrages de traitement

De plus, l'impact de la présence de sels sur la remobilisation et la biodisponibilité d'autres polluants serait également une perspective d'étude qui permettrait d'actualiser les connaissances. En effet, l'optimisation des systèmes d'assainissement, en particulier de type « fossés filtrants » nécessite d'améliorer les connaissances sur les interactions entre les différents polluants présents.

1 Loi Canadienne sur la protection de l'environnement (1999) – Liste des substances d'intérêt prioritaire. Rapport d'évaluation. Sels de voirie. Ministère des travaux publics et des services gouvernementaux du Canada

---

## Étudier l'impact des fondants routiers sur les végétaux

**Améliorer l'efficacité des ouvrages de traitement** Une étude menée par les PCI Gesicht et EETB débute en 2014 pour sélectionner des espèces végétales et évaluer leur efficacité pour améliorer le traitement des eaux de ruissellement routier.

**Quels impacts sur les écosystèmes terrestres ?** Dans la présente étude, les essais de germination ont été réalisés avec des graines de blé qui est une graminée relativement robuste. Or, dans des secteurs à enjeux vis-à-vis du milieu naturel, il serait intéressant d'évaluer les impacts des fondants routiers sur des espèces locales et/ou sensibles afin de proposer des solutions d'exploitation adaptées.

Les perspectives de ce travail prospectif doivent donc viser à améliorer les connaissances sur la qualité des eaux de ruissellement ainsi que sur l'impact du rejet de ces eaux vers le milieu naturel. Les objectifs de tels travaux sont de proposer, à terme, des solutions pour optimiser/adapter les ouvrages de traitement (amélioration du rendement épuratoire) et pour améliorer les pratiques d'exploitation en période hivernale notamment dans les secteurs sensibles.