

**AGER**  
conseil

Agro-Environnement & Recyclage

Christian BUATIER

**GRAND  
BOURG**  
AGGLOMÉRATION

*Caractérisation et analyse de la phytodisponibilité du  
nickel présent dans les sols agricoles*

*- Le cas de la Bresse (01) -*

*En vue d'une demande de dérogation relative à la  
réglementation sur l'épandage des boues de STEP*

**présentée par Grand Bourg Agglomération**

**01000 BOURG en BRESSE**

à BOURG en BRESSE, le 24 Janvier 2025

# Sommaire

<b>1 - INTRODUCTION</b>	<b>2</b>
<b>2 - LA ZONE CONCERNEE</b>	<b>3</b>
<b>21/ SITUATION GEOGRAPHIQUE ET TOPOGRAPHIQUE</b>	<b>3</b>
<b>22/ LA GEOLOGIE</b>	<b>3</b>
<b>23/ LES SOLS</b>	<b>4</b>
<b>24/ TENEURS DES SOLS EN NICKEL</b>	<b>5</b>
<b>3 - CARACTERISATION ET DIAGNOSTIC DU NICKEL PRESENT DANS LES SOLS</b>	<b>6</b>
<b>31/ METHODOLOGIE RETENUE POUR DEMONTRER LE CARACTERE NATUREL         DES TENEURS ELEVES EN NICKEL</b>	<b>6</b>
<b>32/ ETUDE DES CORRELATIONS ENTRE ELEMENTS ET LE TAUX D'ARGILE</b>	<b>9</b>
<b>33/ ETUDE DES PROFILS DES TENEURS</b>	<b>10</b>
<b>4 - CONCLUSION ET DEMANDE DE DEROGATION</b>	<b>13</b>
<b>41/ CONCLUSION</b>	<b>13</b>
<b>42/ DEMANDE DE DEROGATION</b>	<b>143</b>
- <b>Etudes consultées pour la réalisation de ce dossier</b>	<b>15</b>

# **Caractérisation et analyse de la phytodisponibilité du nickel présent dans les sols agricoles**

## **Le cas de la Bresse (01)**

*En vue d'une demande de dérogation relative à la réglementation sur l'épandage des boues de STEP*

### **1 ♦ INTRODUCTION**

*Dans le cadre de la réalisation des études préalables à l'épandage des boues de station d'épuration, les sols agricoles présentent régulièrement des teneurs en nickel (Ni) supérieures au seuil réglementaire fixé à 50 mg/kg de MS.*

*Pour répondre à la variabilité des teneurs en Eléments traces Métalliques (ETM) du fond pédogéochimique naturel de la France, essentiellement dû à la composition initiale des matériaux parentaux des sols, la réglementation sur l'épandage des boues, prévoit la possibilité de demander des dérogations afin d'autoriser les épandages sur des sols dont les teneurs en ETM dépassent les seuils.*

*Le constat du dépassement de la teneur-limite du Nickel des sols n'est pas nouveau et a déjà été établi en maints endroits du Département de l'Ain.*

*De même, d'autres départements (Doubs, Haute-Savoie, Moselle, Côte d'Or ...) signalent sur certains sols des dépassements de la teneur-limite en Nickel.*

*Toutes les observations confirment que ce dépassement n'est pas dû à une contamination par une pollution, mais résulte simplement de l'originalité du fond géochimique local.*

*Une étude approfondie réalisée par Ch.BUATIER CA01 (1994) en lien avec l'ADEME et l'INRA, confirme la relation entre les concentrations élevées en Nickel et le fond géochimique (Pays de Gex 01).*

*Cette étude confirme également la très faible mobilité et biodisponibilité du Nickel présent dans le sol.*

*Avant la parution de la réglementation sur l'épandage des boues, sur la base d'une étude réalisée par J.WIART CA01, le Conseil Départemental D'Hygiène (CDH devenu CODERST) dans sa séance du 12 Octobre 1989 a admis de retenir comme teneur-seuil la teneur-limite supérieure proposée par la directive C.E.E. , soit 75 mg/kg de terre sèche, au lieu des 50 mg/kg de la norme française .*

*La norme C.E.E. peut être relevée de 50 % si le pH du sol est constamment supérieur à 7.*

*Le choix des parcelles-témoins des périmètres d'épandage était donc basé sur cette teneur **de 75 mg Nickel/kg de terre sèche, ou 112,5 mg/kg de M.S.** (75mg/kg + 50 %) pour les sols présentant un **pH >7.***

## 2 ♦ LA ZONE CONCERNEE

### 21 SITUATION GEOGRAPHIQUE ET TOPOGRAPHIQUE

La BRESSE de l'Ain s'étend de la limite avec la Saône-et-Loire au nord à la limite — floue — avec la Dombes au sud et de la Saône à l'ouest au Revermont à l'est.

Administrativement, elle occupe la moitié nord de l'arrondissement de Bourg-en-Bresse en comprenant les cantons de Bâgé-le-Châtel, Montrevel-en-Bresse, Pont-de-Vaux, Pont-de-Weyle et Saint-Trivier-de-Courtes en entier ainsi que les cantons de Châtillon-sur-Chalaronne, Coligny, Péronnas, Treffort-Cuisiat et Viriat. À l'ouest, le Val de Saône est confondu avec la Bresse.



La BRESSE est, dans son ensemble, très légèrement inclinée vers le Nord, Nord-Ouest. Elle est formée de croupes arrondies, larges de 300 à 500 m et dont les points hauts sont à des cotes voisines de 210 m NGF.

Ces croupes sont séparées par des vallons orientés du Sud, Sud-Est au Nord, Nord-Ouest, à fond plat, larges de 100 à 300 m et situés à des cotes voisines de 190 m. Les versants qui les raccordent présentent des pentes irrégulières avec des replats, et localement des pentes supérieures à 10 %.

De plus, des petits vallons perpendiculaires aux ruisseaux principaux les entaillent.

### 22 LA GEOLOGIE

(Notice géologique, feuille de Mâcon au 1/50000<sup>e</sup>)

La BRESSE, est un bassin tertiaire subsident entre les monts du Mâconnais à l'Ouest et le Jura à l'Est. Deux rides Nord/Est, Sud/Ouest, non affleurantes, divisent l'ensemble en trois zones, du Nord au Sud : Bresse Châlonnaise, Bresse Louhannaise et Bresse de BOURG.

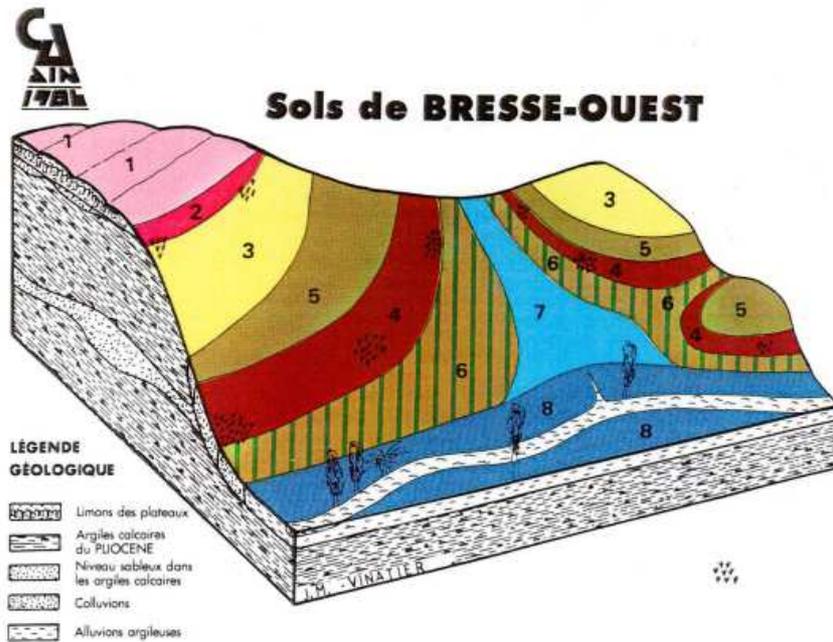
Le remplissage, commencé à l'Eocène, se termine au Pliocène par série lacustre argileuse à la base et sableuse au sommet. Cette dernière est visible en bordure orientale du Val-de-Saône et dans la partie Nord de la Bresse.

Ces sédiments terminaux ont été remaniés au cours de l'établissement du réseau fluvial qui débouche sur la Saône et le Rhône. Une surface d'aplanissement très nette se crée vers 210-215 m, vraisemblablement au Quaternaire moyen ; elle est décarbonatée avant d'être recouverte par des limons et peut-être des loess d'âge récent (leur épaisseur peut atteindre 3 à 4 m sur les parties planes assez étendues). Le creusement du réseau hydrographique actuel est postérieur à la mise en place généralisée de cette couverture limoneuse. Des remaniements très récents ont épandu sur les versants des colluvions limoneuses issues de l'altération des limons des parties hautes ; les alluvions des ruisseaux actuels sont formées des mêmes matériaux, après un certain tri dû au mode de transport.

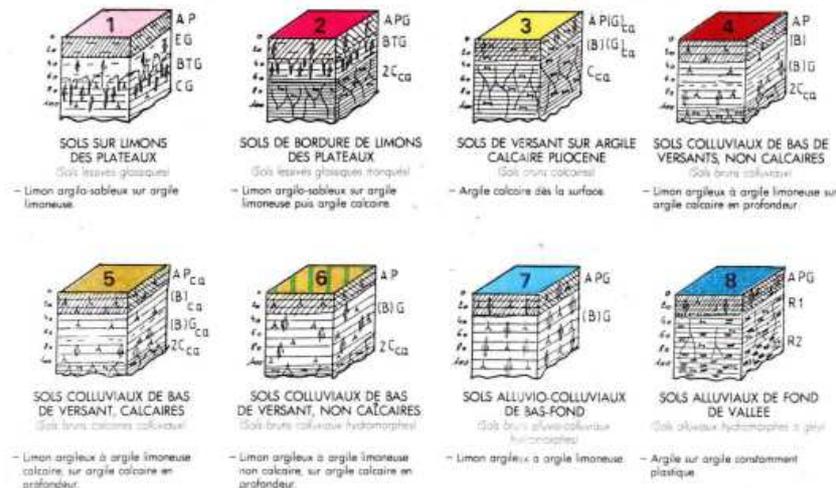
Les conditions de relief et de géologie sont les éléments majeurs de la distribution des matériaux et des sols en Bresse (formations Bressanes). On trouve ainsi :

- ✧ les limons de plateaux sur les croupes et les parties hautes des versants : "Terres Blanches",
- ✧ les affleurements des argiles et marnes du Pliocène dans les parties moyennes des versants,
- ✧ les colluvions limoneuses en bas des versants,
- ✧ les alluvions dans les fonds de vallons.

Dans tous les cas, les argiles et marnes du Pliocène, totalement imperméables, ne sont jamais très profondes (de 0 à 3-4 m), ce qui limite la pénétration des eaux en profondeur. L'ensemble constitue un secteur très peu perméable où les eaux de surface ruissellent en de multiples biefs (ci-après la répartition des unités des sol dans le paysage).



**SCHEMA DES PRINCIPALES UNITÉS DE SOL**



## 24 TENEURS DES SOLS EN NICKEL

C'est au cours de la réalisation des plan d'épandage des boues résiduaire que nous avons observé les dépassements des seuils réglementaires en Nickel.

Dans le cadre de mise à jour du plan d'épandage des boues chaulées de la station d'épuration de Bourg en Bresse, sur 294 analyses anciennes ou récentes, nous avons constaté 5 analyses avec des concentrations en Ni supérieures à 50 mg/Kg de MS et 16 analyses avec des valeurs comprises entre 40 et 50 mg/kg de MS.

	Nickel total /sec (mg/kg )
Nbre analyses	294
Moy	21,29
Min	8,59
Max	<b>67,6</b>
Médiane	18,27
Seuils	50
NB val > 50	<b>5</b>
NB val > 40 et <50	<b>16</b>

### 3 ♦ CARACTERISATION ET DIAGNOSTIC DU NICKEL PRESENT DANS LES SOLS

#### 31 METHODOLOGIE RETENUE POUR DEMONTRER LE CARACTERE NATUREL DES TENEURS ELEVEES EN NICKEL

***Nous retiendrons la démarche proposée par le guide technique pour faire une demande de dérogation « ADEME-Chambre Agriculture » janvier 2005***

Tableau 13 : Démarche pour une étude de dérogation - cas du Ni :  $50 < [Ni] \leq 70$  et  $pH > 6,8$

Conditions	Méthodologie proposée	Fiche « outil » correspondante	Interprétation
50 < [Ni] ≤ 70 et pH > 6,8	Dans ce cas, la démonstration d'une <b>origine naturelle</b> du Ni peut suffire. Il s'agit alors de procéder comme suit :		
	<p>1. Recherche d'études ou de demandes de dérogations existant sur de mêmes types de sols et/ou de documents locaux, de type études géologiques ou pédologiques.</p> <p>2. Etude du contexte géologique et pédologique local pouvant expliquer cette situation.</p> <p>Et en complément, prélèvement et analyse de terre :</p> <p>a. Comparaison verticale des concentrations :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o Si possible, ouverture d'une fosse, description des horizons, prélèvement et analyse des éléments traces métalliques dans chaque horizon,</li> <li>o Sinon, prélèvements et analyses de 3 profondeurs sur 1,5 m (surface, intermédiaire et matériau parental)</li> </ul> <p>b. Calcul du facteur d'enrichissement à l'aide des analyses réalisées sur les échantillons de la fosse</p> <p>c. Calcul de corrélations entre le Ni et d'autres éléments : corrélations (Ni-Fe) ; (Ni-Co) ; (Ni-Cr). Ces corrélations doivent être faites au moins sur 3 prélèvements de surface et comparées aux tableaux du guide (en particulier Annexe 11)</p>	<p>Annexe 3 : « Liste et caractéristiques des études de dérogations existantes »</p> <p>Annexe 4 : « Indices géologiques : les mots qui doivent attirer l'attention »</p> <p>Annexe 5 : Prélèvement de sol</p> <p>Annexe 7 : Analyse totale des ETM</p> <p>Annexe 10 : Comparaison verticale</p> <p>Annexe 10bis : Facteur d'enrichissement</p>	<p>Il s'agit de démontrer que les sols concernés par ce dépassement de seuils peuvent se rattacher à une série de sols déjà connue et étudiée afin de transposer les conclusions déjà acquises. <b>Si tel est le cas, l'étude est finie.</b></p> <p>La présence de roches ou de minéraux potentiellement riches en Ni est un indice de l'origine naturelle du Ni.</p> <p>Il s'agit de démontrer qu'on observe :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- une concentration croissante en Ni avec la profondeur (un enrichissement) et donc que l'origine du Ni dans le profil provient de la roche mère</li> <li>- ou un facteur d'enrichissement des horizons de surface ≤ 1</li> <li>- ou une corrélation entre le Ni et d'autres ETM ou majeurs (Fe). Cette corrélation est généralement la preuve de l'association du Ni, dans la roche mère avec d'autres constituants.</li> </ul>

**Contexte des parcelles de référence concernées =>  $50 < [Ni] < 70$  et  $pH > 6,8$**

**Type de sol : Sols argileux lourd de vallée humide – sol peu évolué d'apport alluvial hydromorphe**

**Unités de sol concernées : Bresse Ouest U7 et U8**

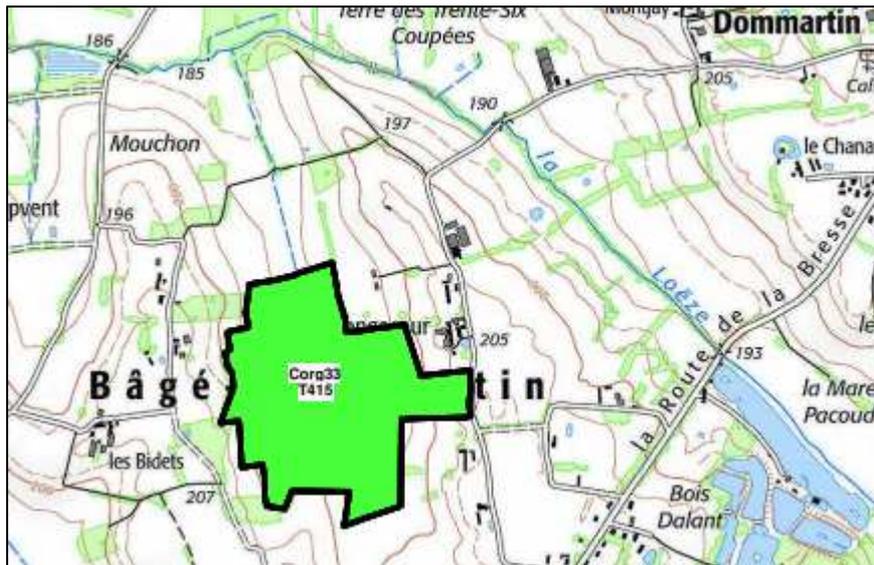
**Situation topographique : Fonds de vallée alluviale**

**Localisation géographique :**

**Communes de BAGE-DOMMARTIN, MARSONNAS et CUET-MONTREVEL**



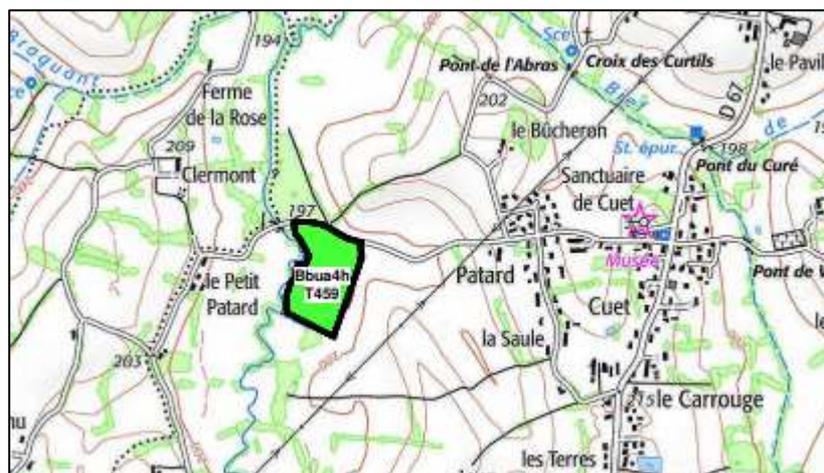
**Les 4 parcelles situées en Bresse de l'Ain**



**Bâgé-Dommartin** (T415 : x=851423 – y=6582961)



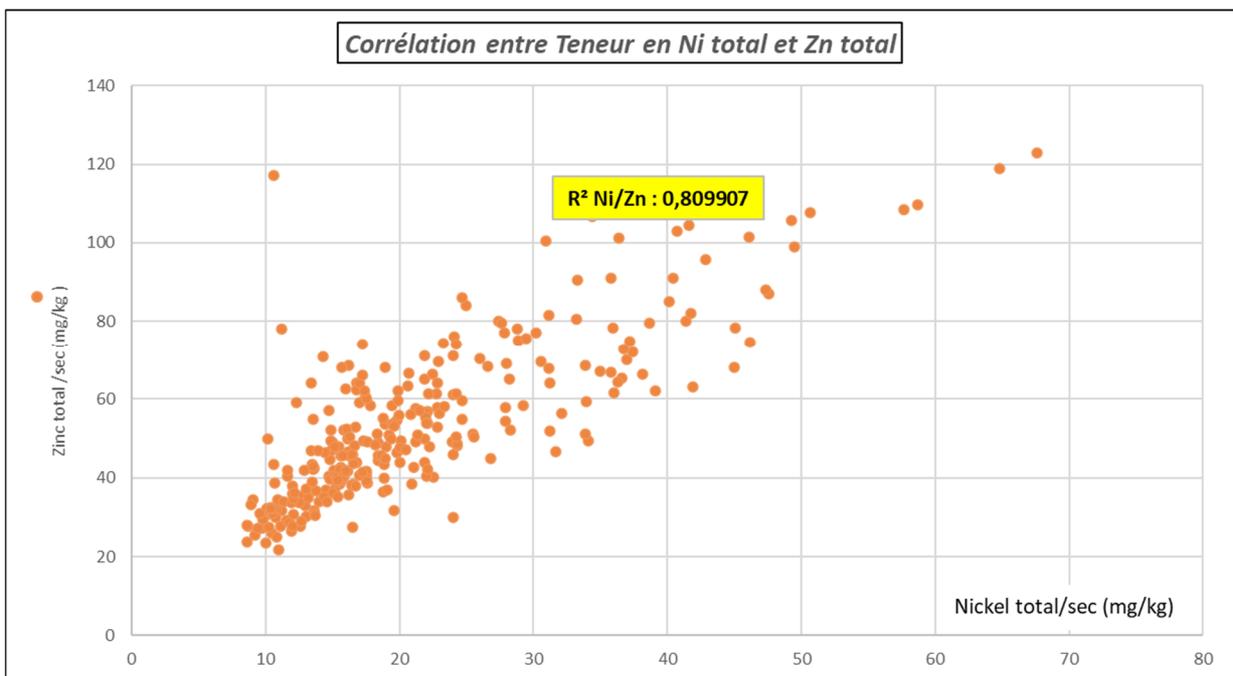
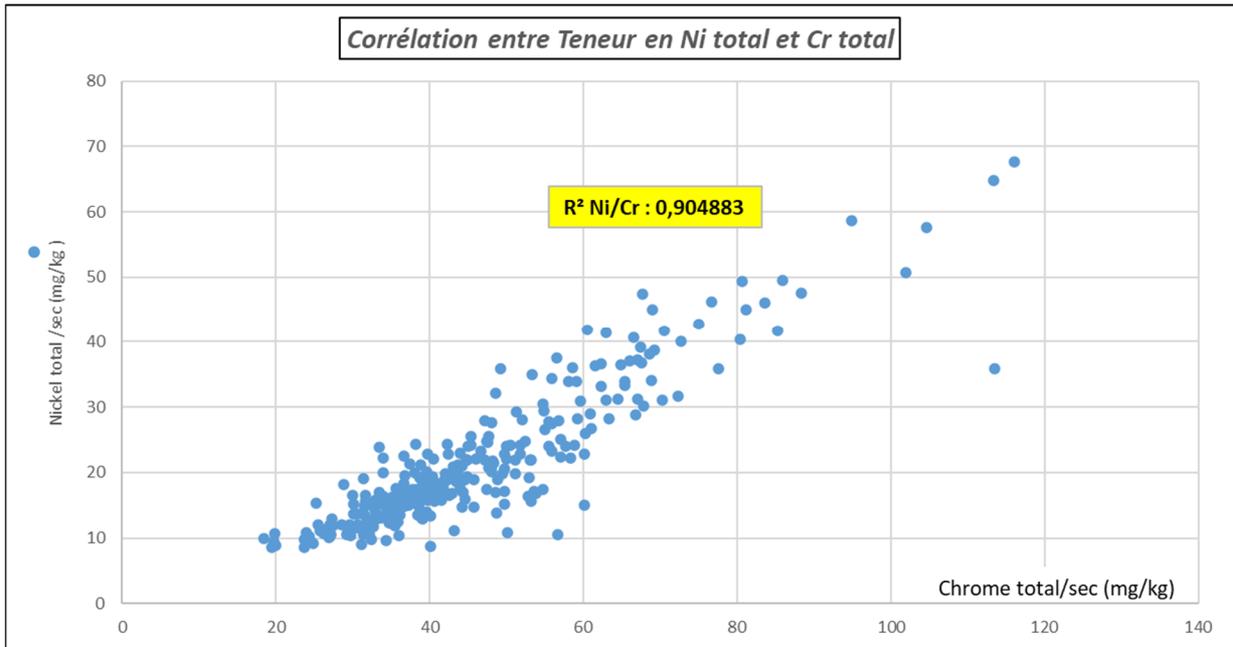
**Marsonnas** (T440 : x=857576 – y=6585478 - T442 : x=858782 – y=6585308)



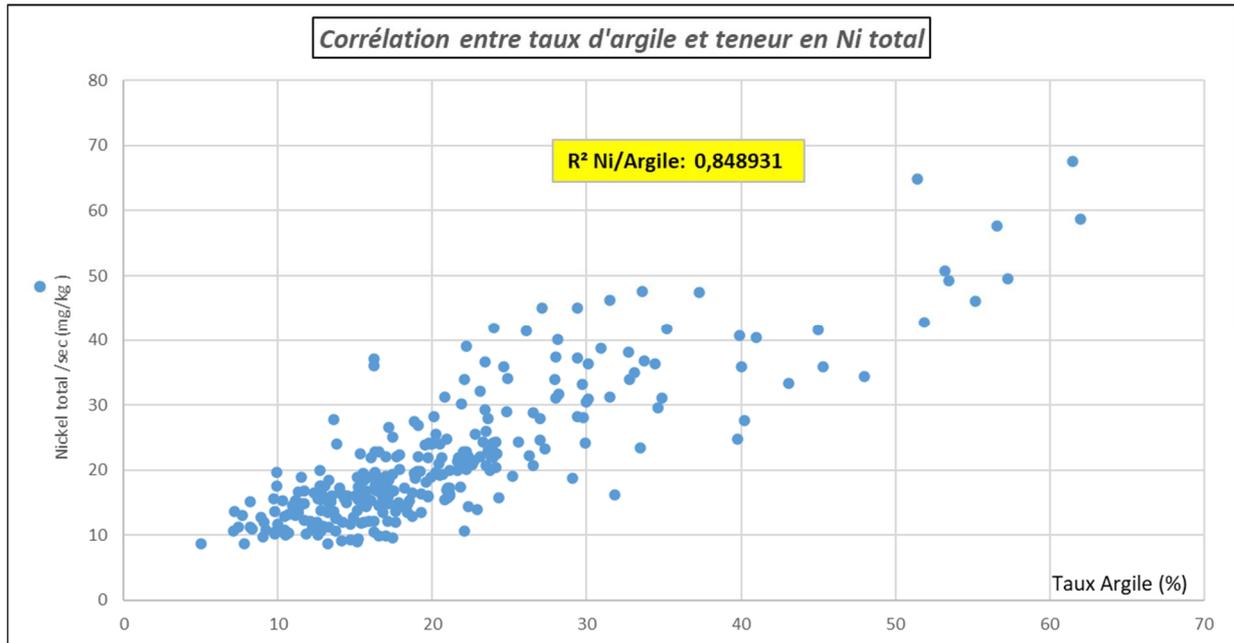
**Cuet-Montrevel en Bresse** (T459 : x=851655 – y=6582482)

Comme l'indique Denis Baize (INRA) dans ses travaux (voir annexe 11 du Guide), sur de grandes populations de sols divers issus de roches variées, on observe toujours des corrélations hautement significatives entre les teneurs totales en Cu, Co ,Cr, Ni, et Zn et également entre les teneurs et le taux d'argile..

A parti des 294 échantillons de terre de surface (0-25 cm – Pep Boue BenB 01), nous avons calculé les coefficients de corrélation.



Une concentration naturelle élevée en Cr et ZN s'accompagne très souvent d'une teneur naturelle élevée en Ni, et inversement ( $R^2$  compris entre 0,80 et 0,90).



Les teneur en Ni sont proportionnelles au taux d'argile ( $R^2 > 0,80$ ).

### 33 ETUDE DES PROFILS DES TENEURS

Dans le cadre du dossier de la mise à jour du Plan d'épandage des boues de la STEP de Bourg en Bresse, 100 nouvelles parcelles de référence ont été créées et analysées fin 2022 dont 4 présentaient des concentrations en Ni supérieures à 50 mg/Kg de MS.

**Contexte des 4 parcelles de référence concernées** =>  $50 < [Ni] < 70$  et  $pH > 6,8$

**Type de sol** : Sols argileux lourd de vallée humide – sol peu évolué d'apport alluvial hydromorphe

**Situation topographique** : Fonds de vallée alluviale

Référence	Labo	Num labo	Date prélèv	X-Long. L93	Y-Lat. L93	Code_Sol	code ILOT	Geppa	Argile(%)	pH eau /sec	CEC/sec (me	Chrome total	Nickel total /
T415	Aurea (45)	41842180	13/12/2022	851423	6582961	Ba / C	Corg33	A	56,6	7,8	28,4	104,63	57,67
T440	Aurea (45)	41842145	13/12/2022	857576	6585478	Ba / C	Coll1d	A	51,4	7,5	28,5	113,32	64,82
T442	Aurea (45)	41842147	13/12/2022	858782	6585308	C	Coll7d	A	53,2	7,4	26,0	101,95	50,68
T459	Aurea (45)	41842164	13/12/2022	861655	6582482	C	Bbua4h	AA	62	7,2	29,3	94,85	58,68

Suite à ces résultats et en vue de déposer un dossier de dérogation, nous avons procédé à de nouvelles analyses sur les 4 parcelles en suivant le protocole du guide (voir tableau 13 page 5)

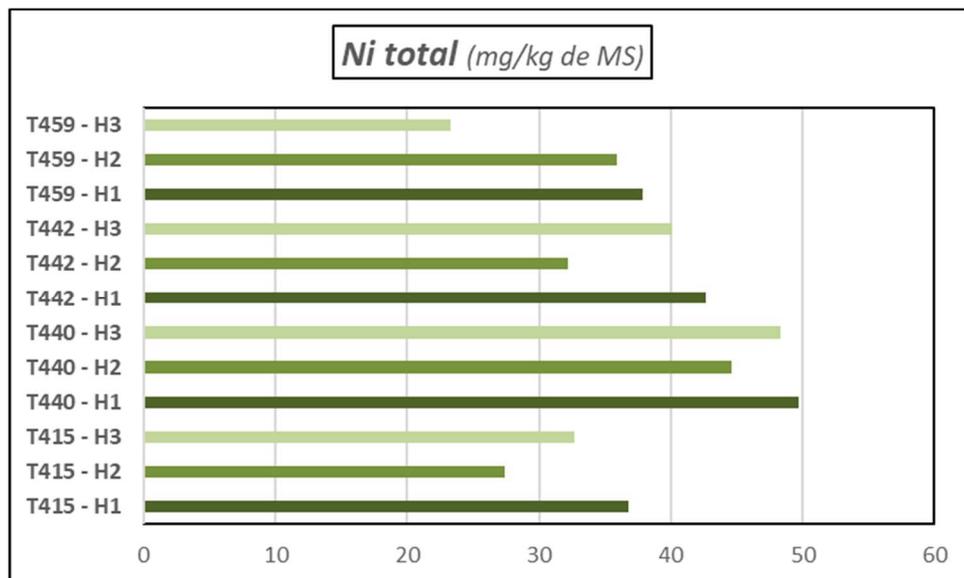
Sur chaque parcelle, nous sommes revenus sur les points des prélèvements initiaux (coordonnées L93 de décembre 2022).

Des analyses de contrôle des métaux et des oligo-éléments ont été réalisées sur 3 horizons différents (sur le profil d'intérêt agronomique – prospecté par les racines : horizon 1 = 0-30 cm, horizon 2 = 30-70 cm et horizon 3 = 70-110 cm) afin de vérifier un éventuel enrichissement du sol en profondeur.

Référence	Cd total	Cr total	Cu total	Hg total	Zn total	Ni total	Ni DTPA	Pb total	Co total	Fe total	Mn total	pH eau
T415 - H1	0,26	68,95	12,42	0,025	54,27	<b>36,74</b>	<b>1,23</b>	18,81	9,62	2,47	516,06	6,52
T440 - H1	0,41	77,43	23,49	0,05	102,73	<b>49,71</b>	<b>2,04</b>	32,42	17,02	5,68	918,33	7,48
T442 - H1	0,35	76,22	17,65	0,038	89,32	<b>42,62</b>	<b>1</b>	30,42	14,21	4,77	606,22	7
T459 - H1	0,39	65,7	20,86	0,036	86,51	<b>37,85</b>	<b>1,21</b>	27,6	11,73	4,69	704,44	7,23
T415 - H2	0,23	42,92	13,86	0,019	51,86	<b>27,37</b>	<b>0,39</b>	17,73	10,15	3,34	501,97	7,58
T440 - H2	0,29	67,07	20,36	0,037	92,9	<b>44,63</b>	<b>0,48</b>	27,6	17,01	5,22	911,81	7,63
T442 - H2	0,19	53,61	12,88	0,03	77,21	<b>32,17</b>	<b>0,32</b>	25,32	12,12	4,12	579,16	7,54
T459 - H2	0,25	61,29	16,32	0,023	66,87	<b>35,94</b>	<b>0,42</b>	22,23	10,85	4,17	644,83	7,88
T415 - H3	0,14	54,28	12,33	0,02	56,34	<b>32,68</b>	<b>0,29</b>	18,14	9,25	3,03	425,86	7,57
T440 - H3	0,19	82,6	21,51	0,033	89,17	<b>48,33</b>	<b>0,42</b>	24,73	13,09	4,46	552,23	7,65
T442 - H3	0,24	63,29	15,34	0,035	75,6	<b>40,1</b>	<b>0,3</b>	23,36	13,1	4,09	567,51	8,23
T459 - H3	0,19	37,95	12,28	0,021	49,28	<b>23,26</b>	<b>0,33</b>	17,07	9,03	2,97	440,23	7,76

Contrairement aux analyses réalisées en décembre 2022 sur les mêmes points de prélèvement (16 carottages en surface et 8 en sous-sol) aucune concentration en Ni total ne dépasse le seuil des 50 mg/kg de MS.

### ↳ Concentration en Ni par horizon



Les résultats des analyses complémentaires montrent que contrairement aux sols du Pays de Gex, nous ne constatons pas d'augmentation des concentrations dans les horizons profonds (marne de Bresse sur H2 et H3) ; nous sommes en présence de sols peu évolués (dépôts alluviaux), très peu issus de matériaux de dégradation de la marne et qui ne présentent pas de teneur plus élevée que l'horizon de surface.

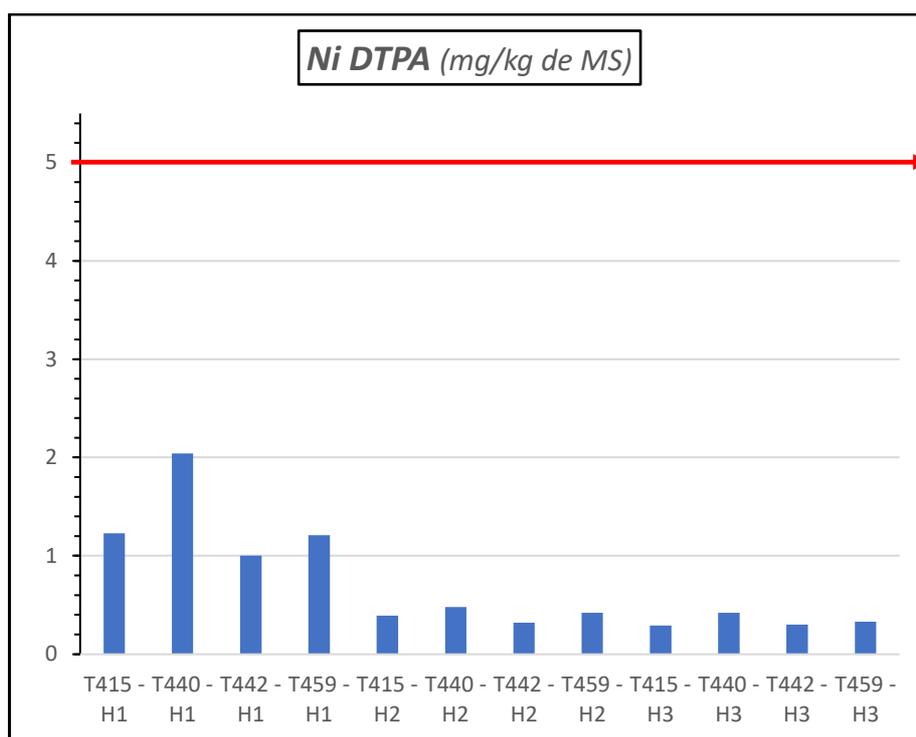
### ↳ Etude des corrélations entre éléments sur chaque horizon

	H1	H2	H3
R <sup>2</sup> Ni/Cr	0,865239	0,953852	0,953852
R <sup>2</sup> Ni/Cu	0,714336	0,924087	0,960092
R <sup>2</sup> Ni/Zn	0,805074	0,886259	0,977778
R <sup>2</sup> Ni/Fe	0,788836	0,981175	0,934814
R <sup>2</sup> Ni/Co	0,972437	0,898492	0,891167
R <sup>2</sup> Ni/Mn	0,836909	0,986020	0,817033

Cette matrice confirme à nouveau les bonnes corrélations : Ni/Cr, Ni/Cu, Ni/Zn, Ni/Fe, Ni/Co et Ni/Mn sur les 3 horizons prospectés.

### ↳ Analyse de la phytodisponibilité

Pour apprécier la part phytodisponible du Ni total présent naturellement dans les sols , des extractions au DTPA ont été pratiquées sur les 3 horizons.



Les concentrations en Nickel DTPA sont largement inférieures à 5 mg/kg de MS (seuil à partir duquel l'élément est considéré comme phytodisponible) . Ces niveaux de concentration confirment la très faible phytodisponibilité du nickel présent naturellement dans le sol et le sous-sol.

## 4 ♦ CONCLUSION ET DEMANDE DE DEROGATION

### 41 CONCLUSION

**Cette étude sommaire et complémentaire aux études existantes, consacrée à l'analyse des caractéristiques du Nickel présent dans les sols du département de l'Ain et plus particulièrement de la Bresse, nous indique, au vu des résultats des analyses chimiques et des corrélations entre le nickel et certains métaux ou oligo-éléments ainsi que le taux d'argile, que les teneurs élevées en Nickel des sols ne sont pas liées à une contamination anthropique, mais sont bien liées à une origine naturelle.**

Le cas du Nickel n'est pas isolé, en effet les teneurs en Chrome, Cobalt, Cuivre, Fer, Manganèse et Zinc sont fortement corrélées aux teneurs en Nickel dans tout le profil.

De plus, la faible part de Nickel extraite par l'extractif DTPA, confirme le statut très spécifique du Nickel. Il est en effet très peu échangeable car en grande partie fixé sur ou inclus dans les minéraux primaires et secondaires.

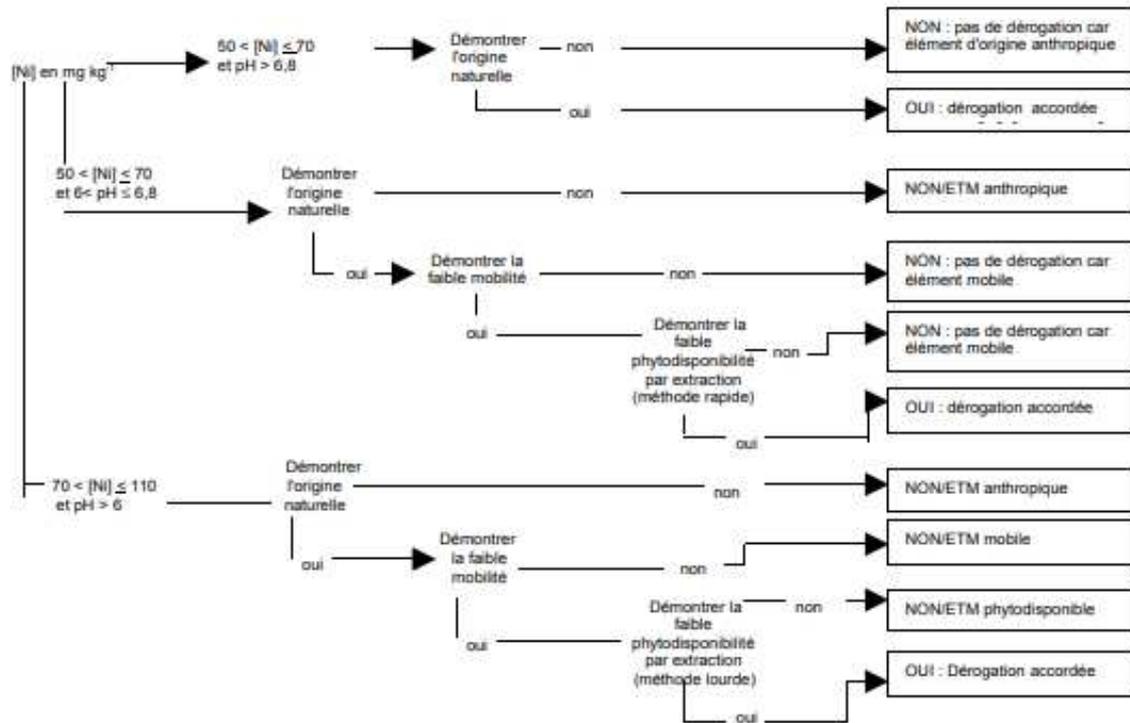
Nous pouvons confirmer les hypothèses formulées dans de nombreuses études consacrées aux métaux dans les sols, sur l'origine naturelle et la très faible phytodisponibilité du Nickel contenu dans les sols agricoles de la Bresse de l'Ain.

## 42 DEMANDE DE DEROGATION

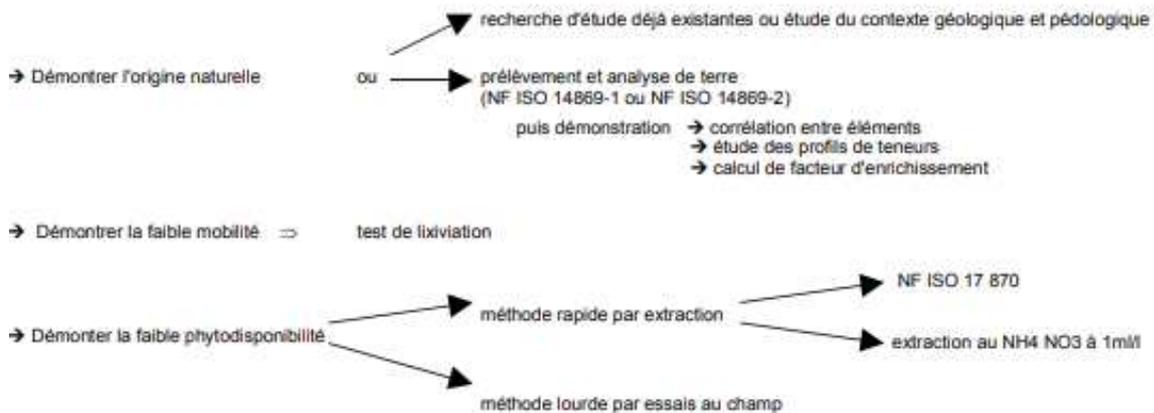
Le guide technique relatif aux dérogations concernant la réglementation sur l'épandage des boues de stations d'épuration financé par l'ADEME et l'APCA et établi en 2005 par D Baize et al propose un logigramme de décision.

Ce logigramme sert de base pour l'instruction des demandes de dérogation.

**ANNEXE 1** - Logigramme de décision pour une demande de dérogation appliquée au nickel  
(source : ADEME et APCA 2005)



### Rappel des méthodes à utiliser pour les différentes analyses



Selon le logigramme précédent, nous sommes dans le cas suivant :

↳ mg/kg < [Ni] < 70 mg/kg et pH > 6,8 :

Les résultats de cette étude nous conduisent à considérer l'origine naturelle du nickel.

Dans ce cas, une dérogation peut être accordée pour les parcelles dont les sols présentent des teneurs en nickel supérieures à 50 mg/kg de MS et inférieures à 70 mg/kg de MS avec un pH supérieur à 6,8.

Ch. BUATIER  
AGER Conseil  
Le 24 Janvier 2025

### ↳ Etudes consultées pour la réalisation de ce dossier :

**M.V.A.D. de la Chambre d'Agriculture de l'AIN, 1989.** *Teneur des sols agricoles de l'AIN en éléments traces. Le problème particulier de la teneur en Nickel au regard de l'application de la norme NF U44-041 pour l'épandage des boues résiduelles de station d'épuration. 16 p + annexes.*

**BUATIER C. 1994.** *Caractérisation et analyse de la mobilité et de la biodisponibilité du nickel dans les sols agricoles. Les cas du Pays de Gex (Ain). Etude ADEME, 180 p.*

**ADEME et APCA. 2005.** *Dérogations relatives à la réglementation sur l'épandage des boues de stations d'épuration. Comment formuler une demande pour les sols à teneurs élevées en éléments traces métalliques ? Guide Technique. J.Béraud et A. Bispo (Coordinateurs). D. Baize, T. Steckeman, A. Piquet, H. Ciesielski, J. Béraud et A. Bispo (Auteurs). [www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)*

**GBA – AGRESTIS 2025 – Etude préalable à l'épandage des boues chaulées de la STEP de Bourg en Bresse - dossier de mise à jour 2024 .**