

M^{me} Uta Gabriel

INRS-Eau Terre et Environnement

**Information relative à la géochimie de l'uranium et aux effets du cône de
rabattement de l'aquifère à la mine projetée à Oka sur la concentration en uranium des
eaux d'exhaure**

28 juin 2002

Géochimie de l'uranium

Dans l'environnement, l'uranium peut être présent sous forme de U(+4) et U(+6). Les chiffres en parenthèses représentent les numéros d'oxydoréduction. L'U(+4) est très peu soluble. La solubilité de l'U(+6) dépend fortement des conditions chimiques de la solution (son pH et la concentration en ligands). La solubilité observée est la somme de tous les complexes en solution. Les calculs de la solubilité se basent sur le produit de solubilité d'une phase solide qui est stable dans les conditions d'oxydoréduction du milieu en question. La phase solide utilisée dans les calculs présentés est $\beta\text{-UO}_2(\text{OH})_2$. Cette phase est souvent utilisée pour des estimations de solubilité d'U(+6).

Dans la carbonatite, l'eau souterraine est probablement en équilibre avec des minéraux carbonatés comme la calcite. Les valeurs de pH observées autour de 8 confirment cette hypothèse. Les constantes d'équilibre utilisées sont présentées dans le tableau 1. Les deux ensembles des constantes se réfèrent à la même base : la banque de données de NEA (présentées dans Grenthe et al., 1992). Le produit de solubilité permet de calculer la concentration en uranium(+6) libre en fonction du pH. La concentration de l'uranium(+6) libre permet ensuite de calculer la concentration de toutes les autres espèces en solution. Un fichier EXCEL, présentant les calculs réalisés, est joint à ce texte.

Le premier calcul de la solubilité de l'U(+6) est effectué dans le milieu carbonaté où le pH est de 8. On suppose que la force ionique de la solution est très faible (Figure 1). La solubilité maximale résultant (pourvu qu'il y a assez de uranium(+6) disponible dans le milieu) devrait être de l'ordre de 6 mg/l. Le tableau 3.5 du rapport caractérisant le site (fourni par le BAPE) présente des échantillons dont la concentration en sulfates est environ 600 ppm. Cette concentration crée une force ionique de 0.375 M. En prenant en compte les coefficients d'activité pour les espèces dissoutes on peut calculer des constantes d'équilibre adaptées à cette force ionique. Les coefficients d'activités ont été calculés selon Davies (1962). Figure 2 présente le diagramme de spéciation pour la force ionique de 0.375 M. Pour pH 8 on trouve une concentration de 49 mg/l. Il est possible de remarquer l'influence de la force ionique sur la solubilité de l'U(+6) autour du pH 8. Avec le deuxième ensemble des constantes d'équilibre on obtient des concentrations de 12 et de 57 ppm pour une force ionique de 0 et 0.375 M.

Tableau 1 Constantes d'équilibre (logK) pour les calculs de spéciation
(Grenthe et al., 1992; Stumm and Morgan, 1996, Waite et al., 1994)

Réaction	logK	logK	logK	logK
	(I=0M) DB 1	(I=0.375M) DB 1	(I=0M) DB 2	(I=0.375M) DB 2
$\text{UO}_2^{2+} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{UO}_2\text{OH}^+ + \text{H}^+$	-5.2	-5.467	-5.2073	-5.4746
$\text{UO}_2^{2+} + 2 \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{UO}_2(\text{OH})_2^\circ + 2 \text{H}^+$	-12	-12.27	-10.3146	-10.5819
$\text{UO}_2^{2+} + 3 \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{UO}_2(\text{OH})_3^- + 3 \text{H}^+$	-20	-20	-19.2218	-19.2218
$\text{UO}_2^{2+} + 4 \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{UO}_2(\text{OH})_4^{2-} + 4 \text{H}^+$	-33	-32.47	-33.0291	-32.4945
$2 \text{UO}_2^{2+} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow (\text{UO}_2)_2 \text{OH}^{3+} + \text{H}^+$	-2.8	-4.938	-2.7072	-4.8456
$2 \text{UO}_2^{2+} + 2 \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow (\text{UO}_2)_2 (\text{OH})_2^{2+} + 2 \text{H}^+$	-5.63	-5.897	-5.6346	-5.9019
$3 \text{UO}_2^{2+} + 4 \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow (\text{UO}_2)_3 (\text{OH})_4^{2+} + 4 \text{H}^+$	-11.9	-12.43	-11.9290	-12.4636
$3 \text{UO}_2^{2+} + 5 \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow (\text{UO}_2)_3 (\text{OH})_5^+ + 5 \text{H}^+$	-15.56	-16.36	-15.5862	-16.3881
$3 \text{UO}_2^{2+} + 7 \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow (\text{UO}_2)_3 (\text{OH})_7^- + 7 \text{H}^+$	-31.0	-31.53	-31.0508	-31.5854
$\text{UO}_2^{2+} + \text{H}_2\text{CO}_3^\circ \leftrightarrow \text{UO}_2\text{CO}_3^\circ + 2 \text{H}^+$	-6.98	-7.25	-7.0134	-7.2807
$\text{UO}_2^{2+} + 2 \text{H}_2\text{CO}_3^\circ \leftrightarrow \text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-} + 4 \text{H}^+$	-16.36	-15.83	-16.4467	-15.9121
$\text{UO}_2^{2+} + 3 \text{H}_2\text{CO}_3^\circ \leftrightarrow \text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{4-} + 6 \text{H}^+$	-28.41	-26.00	-28.4802	-26.0745
$2 \text{UO}_2^{2+} + \text{H}_2\text{CO}_3^\circ + 3 \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow (\text{UO}_2)_2\text{CO}_3(\text{OH})_3^{3-} + 5 \text{H}^+$	-17.86	-18.30	-17.5729	-17.8402
$\text{H}_2\text{CO}_3^\circ \leftrightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$	-6.35	-6.08	-6.35	-6.08
$\text{H}_2\text{CO}_3^\circ \leftrightarrow 2 \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$	-16.68	-15.88	-16.68	-15.88
$\text{H}_2\text{CO}_3^\circ \leftrightarrow \text{CO}_{2(g)} + \text{H}_2\text{O}$	1.47	1.47	1.47	1.47
$\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{OH}^- + \text{H}^+$	-14	-13.73	-14	-13.73
$\text{UO}_2^{2+} + 2 \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{beta-UO}_2(\text{OH})_{2(s)} + 2 \text{H}^+$	-4.93	-5.20	-4.9457	-5.2130

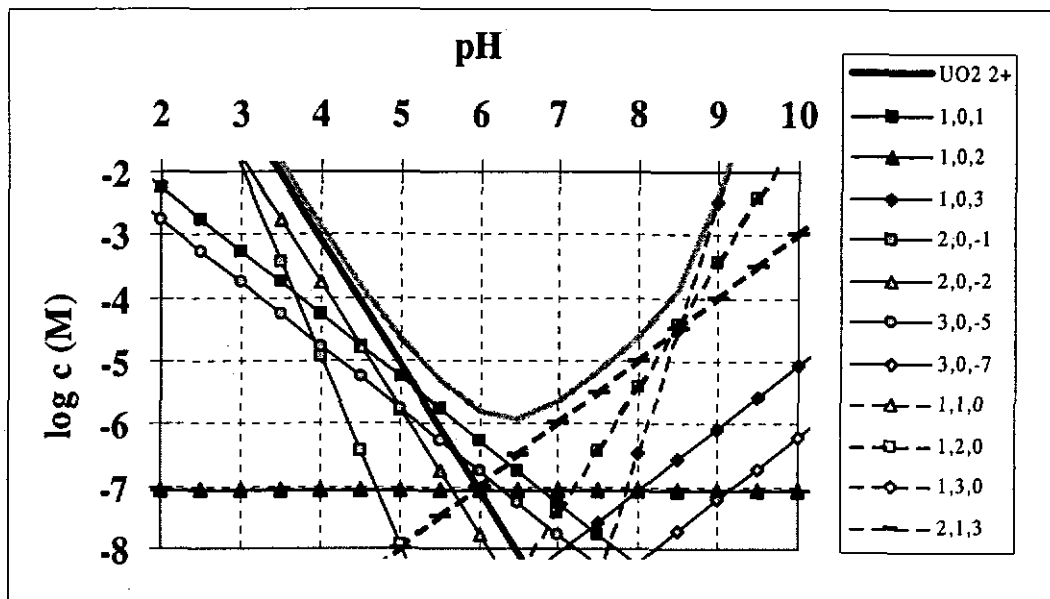


Figure 1 Spéciation de l'uranyle en fonction du pH en équilibre avec le CO_2 de l'air et de la calcite avec une force ionique de zero. La ligne grise indique la concentration maximale d' $\text{U}(+6)$ dissout (pourvu qu'il y a assez de l' $\text{U}(+6)$ à disponible, BD1, x,y,z : x = $\text{U}(+6)$, y = carbonate, z = hydroxyle).

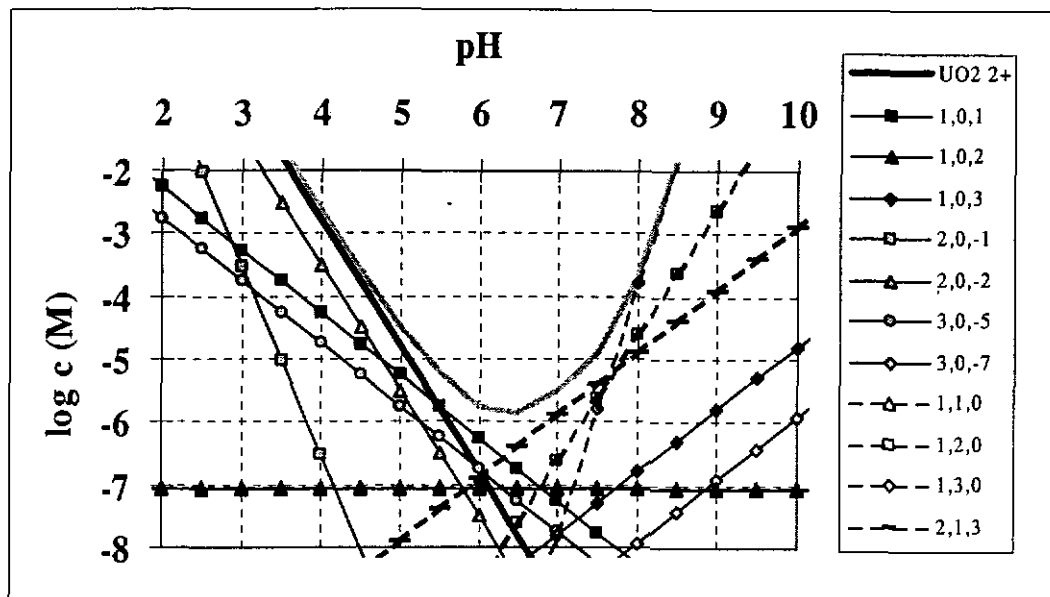


Figure 2 Spéciation de l' $\text{U}(+6)$ en fonction du pH en équilibre avec le CO_2 de l'air et de la calcite avec une force ionique de 0.375 M. La ligne grise indique la concentration maximale d' $\text{U}(+6)$ dissout (pourvu qu'il y a assez de l' $\text{U}(+6)$ à disponible, BD1, x,y,z : x = $\text{U}(+6)$, y = carbonate, z = hydroxyle).

Ces valeurs dans la gamme de 1 à 100 ppm représentent la solubilité maximale due à la complexation en solution. Cette complexation en solution sera en compétition avec les réactions de fixation sur les solides : l'adsorption sur des surfaces réactives et la coprécipitation avec d'autres minéraux ou phases amorphes comme la ferrihydrite. Cette dernière peut précipiter grâce à une oxydation de $\text{Fe}(+2)$ en $\text{Fe}(+3)$. La géochimie complexe de l'uranium(+6) rend une prédiction de l'équilibre entre les réactions de mobilisation (complexation en solution et adsorption sur des particules et colloïdes mobiles) ainsi que les réactions de fixation sur la phase stationnaire très difficile. Dans tous les cas, on peut s'attendre à une diminution des valeurs observées en U(+6) dissout due aux réactions de fixation. Naturellement ces calculs s'appliquent seulement dans le cas où de l'uranium(+6) est disponible, c'est à dire l'oxydation des minéraux primaires à eu lieu.

Le cône de rabattement

Le cône de rabattement dans la carbonatite provoqué par le pompage pour l'assèchement de la mine éventuelle va exposer une partie de la roche à l'air ambiant et donc à l'oxygène. Une partie de l'uranium présent dans la roche pourra être oxydée à l'état U(+6). Cet U(+6) pourra être lessivé au cours de l'exploitation de la mine ainsi que pendant la remontée de la nappe suite à la fin de l'exploitation de la mine éventuelle. Ce processus d'oxydation-lessivage de l'uranium pourrait avoir lieu aussi dans les fractures de la carbonatite, autour des ouvertures de la mine. Comme mentionné par Mme Thompson, il a été observé dans d'autres cas, des pics de concentration de contaminants lors de la remontée de la nappe à la fin de l'exploitation minière. Après la remontée complète de la nappe, la concentration de l'uranium dans les eaux sortant de la mine devraient se stabiliser à une valeur comparable à celle avant l'exploitation minière. Les détonations pendant l'exploitation éventuelle auront probablement augmenté la perméabilité du milieu autour de la mine, mais le remplissage des ouvertures de la mine avec du ciment diminuerait probablement la migration de l'oxygène.

Comme paramètres essentiels qui vont contrôler la concentration dissoute en uranium je vois:

1) La quantité (masse) totale de U disponible dans la roche. C'est une valeur maximale ("pire scénario").

Les réactions d'oxydoréduction seront limitées par les processus/paramètres décrits par la suite.

2) L'ouverture des fractures qui permettront à l'air de circuler. L'apport de l'air à travers les fractures est contrôlé par la diffusion ainsi que par des processus d'advection dus aux gradients de température et de pression.

3) La circulation de l'oxygène dans les fractures. Malgré une circulation relativement active, il est probable qu'une grande partie d'oxygène soit rapidement consommée dans les parties près de la surface du sol.

4) L'épaisseur de la zone d'influence de l'oxygène à l'intérieur des parois des fractures. L'épaisseur de la couche pénétrée va dépendre des microfissures et de la structure de la roche. Cette valeur permet d'estimer la masse d'uranium réellement disponible pour une oxydation.

5) La taille et la minéralogie des grains contenant l'uranium. Afin de comparer, des grands "beaux" cristaux seront plus difficile à oxyder (ou même stable) que des agglomérats d'une phase amorphe.

6) La compétition entre les réactions de mobilisation et de fixation (déjà discutée) ci-dessus, ce qui est également un "pire scénario".

Oxydation des minéraux primaires

Il est difficile de prédire si les minéraux primaires contenant de l'uranium (essentiellement le pyrochlore) vont s'oxyder en présence de l'oxygène et à quelle vitesse ils vont libérer l'uranium. Un bon indice de l'oxydation rapide serait l'observation d'une zone d'altération dans la zone non-saturée du gisement. En même temps, cette zone serait soumise à un lessivage. Dans ce cas, l'U(+6) pourrait être lessivé et il serait possible de trouver des minéraux appauvris en uranium dans cette zone. Ce serait le processus causant les concentrations de l'uranium dans l'eau souterraine autour de la carbonatite. La présence de l'uranium dissout dans l'eau souterraine autours de la carbonatite indique que l'uranium est mobilisé à faible taux. Le rabattement de la nappe afin d'assécher la mine éventuelle va rendre ce processus plus important.

Récemment, il y a un effort notable dans la recherche qui est réalisée sur les minéraux comme le pyrochlore ou autre pour le stockage de déchets nucléaires. Ce fait indiquerait une stabilité exceptionnelle du pyrochlore vis à vis la radiation et son évolution à long terme. La libération des quantités non-négligeable du radon sur le site étudié témoigne que le gaz radon peut sortir du réseau cristallin. Le réseau cristallin du pyrochlore n'est pas étanche pour un gaz. Des pyrochlores altérés ont souvent des contenus réduits en alcalins (voir courrier électronique à la fin) ce qui indique que certains éléments peuvent être lessivés du réseau cristallin.

Conclusion

Les processus qui peuvent interférer dans la mobilisation de l'uranium dus à l'aménagement d'une mine éventuelle dans la carbonatite d'Oka sont très variés et complexes. Il est très difficile de quantifier la concentration de l'uranium dans l'eau souterraine et de surface qui peut en résulter. Il paraît évident, par contre, que la concentration va augmenter parce que les concentrations présentes de l'uranium témoignent qu'une oxydation de l'uranium contenu dans le pyrochlore a eu lieu. Si dans l'avenir une plus grande partie de la carbonatite serait dans des conditions nonsaturées cette oxydation va devenir plus active. Il reste à observer si ce processus va causer des concentrations significativement élevées en uranium. Il paraît nécessaire de surveiller les concentrations d'uranium dans l'environs de la mine éventuelle. Une bonne façon supplémentaire de cette surveillance pourra être d'échantillonner les marais de la Grande Baie. Dans un marais, dans des conditions réductrices, l'uranium serait réduit en U(+4), ce qui le stabiliserait. Il s'accumulerait près de l'entrée de la marais.

Références

Davies, C.W. (1962) Ion association. Butterworth, Washington, DC.

Grenthe I., Fuger, J., Konings, R.J.M., Lemire, R.J., Muller, A.B., Nguyen-Trung, C. and Wanner, H. (1992) Chemical Thermodynamics of Uranium. Elsevier, North Holland, Amsterdam.

Payne, T.E. (1999) Uranium(VI) interactions with mineral surfaces: controlling factors and surface complexation modelling. Ph.D. thesis, University of New South Wales, School of Civil and Environmental engineering.

Stumm W. and Morgan, J.J. (1996) Aquatic chemistry. Chemical equilibria and rates in natural waters. John Wiley and sons, New York.

Waite T.D., Davis, J.A. Payne, T.E., Waychunas, G.A. and Xu, N. (1994) Uranium(VI) adsorption on ferrihydrite: Application of the surface complexation model. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 58, 5465-5478.

Quelques informations supplémentaires.

De : Maurice de Graaf[SMTP:Mauricedegraaf@hetnet.nl]
Objet : Re: alteration of pyrochlore

As for your question about pyrochlore:

As I explained uranium suffers from auto-oxidation due to its own radioactivity. Furthermore the radiation and the (small amounts of heat) from the radioactivity around causes microcracks in the structure, which are vulnerable for attack by water, air and oxidizing chemicals. The damage of the radiation causes the pyrochlore to become metamict. The internal crystalline structure breaks apart and the density drops. It is also noted that metamict pyrochlore contains more water and less alkalines than normal pyrochlore, which suggests to me the alkalines are leached out. This would imply that any uranyl gets leached out also. There are also 'secondary minerals' pseudomorph after pyrochlore. I did not have the time to find out which minerals, but this is said by Betschlin in his "Lehrbuch der Speziellen Mineralogie"

Dissolution of U(+4) oxides

Hering, J.G. and Stumm, W. (1990). Oxidative and reductive dissolution of minerals. In : Mineral-Water Interface geochemistry, Reviews in Mineralogy, Vol. 23 (eds. M.F. Hochella, A.F. White), p. 453.

I. Casas, J. De Pablo, J. Giménez, M.E. Torrero, J. Bruno, E. Cera, R.J. Finch and R.C. Ewing (1998) The role of pe, pH, and carbonate on the solubility of UO₂ and uraninite under nominally reducing conditions. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 62(13), 2223-2231.

Application of pH-Eh diagrams on Uranium solubility

Drever, J.I. (1988). The geochemistry of natural waters. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, p. 336-338.

La présence de vanadium diminue significativement la solubilité de l'uranium(+6).

Pyrochlore

G. R. Lumpkin*, E. M. Foltyn and Rodney C. Ewing (1986) Thermal recrystallization of alpha-recoil damaged minerals of the pyrochlore structure type. *Journal of Nuclear Materials*, 129, 113-120.

G. R. Lumpkin* and R. C. Ewing (1988) Alpha-decay damage in minerals of the pyrochlore group. *Physics and Chemistry of Minerals*, 16, 2-20.

G.R. Lumpkin* and R.C. Ewing (1992) Geochemical alteration of pyrochlore group minerals: Microlite subgroup. *American Mineralogist*, 77, 179-188.

G.R. Lumpkin* and R.C. Ewing (1995) Geochemical alteration of pyrochlore group minerals: Pyrochlore subgroup. *American Mineralogist*, 80, 732-743.

G.R. Lumpkin* and R.C. Ewing (1996) Geochemical alteration of pyrochlore group minerals: Betafite subgroup. *American Mineralogist*, 81, 1237-1248.

M. Nasraoui, E. Bilal and R. Gibert (1999) Fresh and weathered pyrochlore studies by Fourier transform infrared spectroscopy coupled with thermal analysis, *Mineralogical Magazine*, V 63, N 4, 419.

S.X. Wang, L.M. Wang, R.C. Ewing, G.S. Was and G.R. Lumpkin (1999) Ion irradiation-induced phase transformation of pyrochlore and zirconolite. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 148, 704-709.

S.X. Wang, L.M. Wang, and R.C. Ewing (2000) Nano-scale glass formation in pyrochlore by heavy ion irradiation. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 274, 238-243.

A. Meldrum, C.W. White, V. Keppens, L.A. Boatner and R.C. Ewing (2001) Irradiation-induced amorphization of Cd₂Nb₂O₇ pyrochlore. *Physical Review B*, vol. 63, 104109-1 to - 11.

J. Lian*, S.X. Wang, L.M. Wang and R.C. Ewing (2001) Radiation damage and nanocrystal formation in uranium-niobium titanates. *Journal of Nuclear Materials*, vol. 297, 89-96 (cover article).

J. Lian*, L.M. Wang, S.X. Wang, J. Chen, L.A. Boatner and R.C. Ewing (2001) Nanoscale manipulation of pyrochlore: New nanocomposite ionic conductors. *Physical Review Letters*, 87, 14901-1 - 14901-4.

Des références Internet :

<http://www.aps.anl.gov/xfd/communicator/user2000/kropfj1.pdf>

http://www.mrs.org/publications/epubs/proceedings/nucl_waste/#solubility

<http://www.uic.com.au/nip21.htm>

<http://www.eas.purdue.edu/people/facpage/giere.html>

<http://geology.cr.usgs.gov/pub/open-file-reports/ofr-95-0831/CHAP6.PDF>

<http://pubs.usgs.gov/openfile/of01-128/>

<http://www-emtd.lanl.gov/TD/Science/ActinideWasteForms.html>

<http://www-ners.engin.umich.edu/relw/publications/journal.htm>

				-4,93	-5,2	-12	-20	-33	2,8	-5,63	-11,9	-15,56	-31	-6,98	-16,36
				-5,2	-5,4672959	-12,27	-20	-32,47	-4,938	-5,897	-12,43	-16,36	-31,53	-7,25	-15,83
				-4,9457	-5,2073	-10,3146	-19,2218	-33,0291	2,7072	-5,6346	-11,929	-15,5862	-31,0508	-7,0134	-16,4467
				-5,213	-5,4745959	-10,581896	-19,2218	-32,494508	-4,8455672	-5,9018959	-12,463502	-16,388088	-31,585392	-7,280696	-15,91211
logH2CO3				actual											
				-5,2	-5,4672959	-12,27	-20	-32,47	-4,938	-5,897	-12,43	-16,36	-31,53	-7,25	-15,83
				5,2	-0,2672959	-7,07	-14,8	-27,27	5,462	4,503	3,17	-0,76	-15,93	-7,05	-20,63
				-2	-1	0	1	2	-3	-2	-2	-1	1	0	2
pH	ppm U	U1 (c)	U1	UO2 2+	1,0,1	1,0,2	1,0,3	1,0,4	2,0,-1	2,0,-2	3,0,-4	3,0,-5	3,0,-7	1,1,0	1,2,0
0	1.9E+11	5.906378	5.90638	5,2	-0,2672959	-7,07	-14,8	-27,27	5,462	4,503	3,17	-0,76	-15,93	-7,05	-20,63
0,5	9.8E+09	4.612633	4.61263	4,2	-0,7672959	-7,07	-14,3	-26,27	3,962	3,503	2,17	-1,26	-15,43	-7,05	-19,63
1	6.8E+08	3.454186	3.45419	3,2	-1,2672959	-7,07	-13,8	-25,27	2,462	2,503	1,17	-1,76	-14,93	-7,05	-18,63
1,5	5.8E+07	2.38911	2.38911	2,2	-1,7672959	-7,07	-13,3	-24,27	0,962	1,503	0,17	-2,26	-14,43	-7,05	-17,63
2	5533773	1.366444	1.36644	1,2	-2,2672959	-7,07	-12,8	-23,27	-0,538	0,503	-0,83	-2,76	-13,93	-7,05	-16,63
2,5	544494	0.359416	0.35942	0,2	-2,7672959	-7,07	-12,3	-22,27	-2,038	-0,497	-1,83	-3,26	-13,43	-7,05	-15,63
3	54324	-0.641585	-0.6416	-0,8	-3,2672959	-7,07	-11,8	-21,27	-3,538	-1,497	-2,83	-3,76	-12,93	-7,05	-14,63
3,5	5477.64	-1.637983	-1.638	-1,8	-3,7672959	-7,07	-11,3	-20,27	-5,038	-2,497	-3,83	-4,26	-12,43	-7,05	-13,63
4	564.782	-2.624696	-2.6247	-2,8	-4,2672959	-7,07	-10,8	-19,27	-6,538	-3,497	-4,83	-4,76	-11,93	-7,05	-12,63
4,5	61.9718	-3.584383	-3.5845	-3,8	-4,7672959	-7,07	-10,3	-18,27	-8,038	-4,497	-5,83	-5,26	-11,43	-7,05	-11,63
5	7.96789	-4.475234	-4.4767	-4,8	-5,2672959	-7,07	-9,8	-17,27	-9,538	-5,497	-6,83	-5,76	-10,93	-7,05	-10,63
5,5	1.39904	-5.230748	-5.2434	-5,8	-5,7672959	-7,07	-9,3	-16,27	-11,038	-6,497	-7,83	-6,26	-10,43	-7,05	-9,63
6	0.40904	-5.764814	-5.8616	-6,8	-6,2672959	-7,07	-8,8	-15,27	-12,538	-7,497	-8,83	-6,76	-9,93	-7,05	-8,63
6,5	0.32334	-5.866912	-6.3471	-7,8	-6,7672959	-7,07	-8,3	-14,27	-14,038	-8,497	-9,83	-7,26	-9,43	-7,05	-7,63
7	0.7307	-5.512837	-6.6718	-8,8	-7,2672959	-7,07	-7,8	-13,27	-15,538	-9,497	-10,83	-7,76	-8,93	-7,05	-6,63
7,5	2.89422	-4.915046	-6.7443	-9,8	-7,7672959	-7,07	-7,3	-12,27	-17,038	-10,497	-11,83	-8,26	-8,43	-7,05	-5,63
8	49.3823	-3.683005	-6.5384	-10,8	-8,2672959	-7,07	-6,8	-11,27	-18,538	-11,497	-12,83	-8,76	-7,93	-7,05	-4,63
8,5	3846.98	-1.791457	-6.1542	-11,8	-8,7672959	-7,07	-6,3	-10,27	-20,038	-12,497	-13,83	-9,26	-7,43	-7,05	-3,63
9	377823	0.200711	-5.6938	-12,8	-9,2672959	-7,07	-5,8	-9,27	-21,538	-13,497	-14,83	-9,76	-6,93	-7,05	-2,63
9,5	3.8E+07	2.200066	-5.2064	-13,8	-9,7672959	-7,07	-5,3	-8,27	-23,038	-14,497	-15,83	-10,26	-6,43	-7,05	-1,63
10	3.8E+09	4.200006	-4.7097	-14,8	-10,267296	-7,07	-4,8	-7,27	-24,538	-15,497	-16,83	-10,76	-5,93	-7,05	-0,63
10,5	3.8E+11	6.200001	-4.2084	-15,8	-10,767296	-7,07	-4,3	-6,27	-26,038	-16,497	-17,83	-11,26	-5,43	-7,05	0,37
11	3.8E+13	8,2	-3.7007	-16,8	-11,267296	-7,07	-3,8	-5,27	-27,538	-17,497	-18,83	-11,76	-4,93	-7,05	1,37
11,5	3.8E+15	10,2	-3.1762	-17,8	-11,767296	-7,07	-3,3	-4,27	-29,038	-18,497	-19,83	-12,26	-4,43	-7,05	2,37
12	3.8E+17	12,2	-2.6065	-18,8	-12,267296	-7,07	-2,8	-3,27	-30,538	-19,497	-20,83	-12,76	-3,93	-7,05	3,37
12,5	3.8E+19	14,2	-1.9394	-19,8	-12,767296	-7,07	-2,3	-2,27	-32,038	-20,497	-21,83	-13,26	-3,43	-7,05	4,37
13	3.8E+21	16,2	-1.1362	-20,8	-13,267296	-7,07	-1,8	-1,27	-33,538	-21,497	-22,83	-13,76	-2,93	-7,05	5,37
13,5	3.8E+23	18,2	-0.2231	-21,8	-13,767296	-7,07	-1,3	-0,27	-35,038	-22,497	-23,83	-14,26	-2,43	-7,05	6,37
14	3.8E+25	20,2	0.74539	-22,8	-14,267296	-7,07	-0,8	0,73	-36,538	-23,497	-24,83	-14,76	-1,93	-7,05	7,37
8	49.3823	-3.683005	-6.5384	-10,8	-8,2672959	-7,07	-6,8	-11,27	-18,538	-11,497	-12,83	-8,76	-7,93	-7,05	-4,63

uo2_sol

dans les noms des espèces x,y,z: x = uranyl, y = carbonate, z = hydroxyle													
pour voir la spéciation avec une autre constante d'équilibre: coller les constantes (lignes 1, 2, 3 ou 4) dans la ligne 6 (actuel)													

-28,41	-17,86
-26	-18,5
-28,4802	-17,5729
-26,07454	-17,8402
-26	-18,3
-35,8	-12,9
4	1
1,3,0	2,1,3
-35,8	-12,9
-33,8	-12,4
-31,8	-11,9
-29,8	-11,4
-27,8	-10,9
-25,8	-10,4
-23,8	-9,9
-21,8	-9,4
-19,8	-8,9
-17,8	-8,4
-15,8	-7,9
-13,8	-7,4
-11,8	-6,9
-9,8	-6,4
-7,8	-5,9
-5,8	-5,4
-3,8	-4,9
-1,8	-4,4
0,2	-3,9
2,2	-3,4
4,2	-2,9
6,2	-2,4
8,2	-1,9
10,2	-1,4
12,2	-0,9
14,2	-0,4
16,2	0,1
18,2	0,6
20,2	1,1
-3,8	-4,9

uo2_sol
