

# Chemistry Cube Game

Les règles du jeu



Jeux de dés pour le cours de chimie  
De Markus T. Müller

## *Pour Sophie et Bärbel*

Merci à...

... Hansueli Ehrensperger, Jörg Engweiler et Vesna Klingel pour les discussions enrichissantes et les critiques pour le développement des jeux et des règles du jeu.

...mes classes du Lycée de Frauenfeld pour la réalisation des 200 premiers prototypes et des nombreux conseils d'améliorations pour jouer de manière plus ludique.

... Peter Schaltegger pour la transformation graphique et la réalisation des détails de nombreuses formules et son encouragement pour le choix de couleurs.

...Hansruedi Dütsch pour les encouragements et sa disposition ainsi que la répartition du Chemistry Cube Game sur le VSN-Shop.

...la Société Suisse de Chimie (SSC) pour l'aide financière afin d'avoir pu de préparer la première l'édition.

... à ma famille pour l'encouragement moral pour la réalisation de ces jeux.

Impression

1. édition      Février 2017 (version allemande), Mars 2017 (version anglaise), Septembre 2017

Copyright:    Markus T. Müller, Im Baumgarten 5, CH-8500 Frauenfeld, Suisse

Contact :      markus.mueller@kftg.ch

Vente :         www.vsn-shop.ch



## Table des matières

### Informations générales à propos du jeu

#### **Les sels**

- 1.1 Les sels, les formules des sels, la notation des ions
- 1.2 Le processus de dissolution des sels facilement solubles
- 1.3 Le processus de dissolution des sels difficilement solubles
- 1.4 La décristallisation des sels  
(voir aussi 3.1, 4.1, 4.2, 4.4)

#### **Les acides et les bases**

- 2.1 Quelles espèces correspondent à quelle valeur de pH?
- 2.2 La relation entre le pH et le pKa
- 2.3 La titrimétrie d'un acide avec soude caustique
- 2.4 La titrimétrie d'une base avec un acide fort  
(voir aussi 4.4)

#### **Chimie rédox**

- 3.1 Les métaux réagissant avec les non-métaux se transformant en sel
- 3.2 Reconnaître la réaction d'oxydoréduction- le nombre d'oxydation
- 3.3 Le réel processus de réaction d'oxydoréduction et  $E^\circ$   
(voir aussi 4.4)

#### **La chimie environnementale - les polluants atmosphériques et la pluie acide**

- 4.1 Le charbon - le dioxyde de carbone - l'acide carbonique - le carbonate
- 4.2 Le soufre - le dioxyde de soufre - l'acide sulfurique - le gypse
- 4.3 L'azote - l'oxyde d'azote - l'acide azoteux - l'acide nitrique
- 4.4 La fixation de l'azote, la nitrification et la dénitrification

Homepage: [www.swisschemcube.ch](http://www.swisschemcube.ch)

## Résumé

Le Chemistry Cube Game se compose de 16 dés différents. *Ces derniers peuvent être tournés dans plusieurs directions, avec une rotation (resp. une rotation de 90°) chacune montrant une réaction chimique ou un processus physique.* Une nouveauté des dés créés est la spécialisation des acides et des bases (anions), des espèces de métaux élémentaires ( $\text{Me}^0$ ) et des cations métalliques ( $\text{Me}^{x+}$  correspondant, ainsi que des non-métaux ( $\text{O}_2^0$ ) et leurs anions ( $\text{O}^{2-}$ ). A cela sont ajoutés d'autres aspects comme l'origine d'un élément, ainsi que les phases de changements. Si possible, prendre en compte l'équilibre de solubilité des gaz et le disposer de telle manière à ce que, sur le dé, les différents mouvements de rotations possibles, donnent du sens chimiquement.

Avec les SwissChemCubes peuvent être appris d'une façon ludique différents domaines thématiques du cours de chimie tel que les sels, l'équilibre chimique, les acides et les bases, la chimie rédox ainsi que des thèmes de la chimie environnementale.

Dans le domaine thématique des sels peuvent être élaborés les bases de la formation de sels, les dérivés des formules salines et de leur notation ionique, le processus de dissolution et la décristallisation.

Le thème central du jeu des espèces se trouve dans les acides et les bases chimiques qui sont présents dans différentes valeurs de pH (spécification). La relation entre la constante acide  $\text{pK}_a$  et le pH, ainsi que la titrimétrie d'un acide respectivement d'une base, peut se jouer à l'aide du dé.

Les jeux dans la chimie-rédox commencent avec la réalisation de sel à partir d'éléments de base, de métaux et non-métaux. A l'aide des nombres d'oxydation, les réactions d'oxydoréduction peuvent être reconnues, tout comme les réactions partielles de l'oxydation et de la réduction peuvent être écrites à l'aide d'une notation correcte.

Dans la chimie environnementale, nous commençons avec des circuits de carbone et différents équilibres dont il faut tenir compte. Le thème des pluies acides sera traité à l'aide des exemples sur l'acide sulfurique et l'acide nitrique. Voici l'objectif : reconnaître les rapports complexes et les liens des réactions ainsi qu'assister à leurs fonctions dans le cadre du pH, de la pression et de la température. Le circuit de l'azote met en lien les différents thèmes traités, dans lesquels s'y ajoutent les conditions aérobiques et anaérobiques.

Les règles du jeu du Chemistry Cube Games sont le fruit de cinq années d'expériences personnelles réalisées avec des prototypes confectionnés à la main. Cela permet donc de tester et réaliser ses propres idées de jeu.

# Informations générales

## Idée du jeu

Dans le jeu Chemistry Cube Game, il s'agit tout d'abord de différentes formes ou espèces qui peuvent exister en un élément, par exemple en un acide ou une base, en une réduction ou un oxydant (métaux, non-métaux et leurs ions). En plus de cela, on trouve sur le dé les formules de précurseurs, qui permettent de créer par exemple les acides examinés. On peut, grâce à ces dés, expérimenter de façon ludique, différentes réactions.

## Contenu

16 différents dés (total 204 dés, phases de demi-classes):

Nb.		Nb.		Nb.		Nb.	
24	H <sub>2</sub> O	12	NH <sub>3</sub>	12	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	12	Pb, Sn
12	H <sub>2</sub> S	12	HNO <sub>2</sub>	12	Na, Mg, Al	12	N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , S
12	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	12	HNO <sub>3</sub>	12	Ca, Zn, Ag,	12	F <sub>2</sub> , Cl <sub>2</sub> , Br <sub>2</sub>
12	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	12	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	12	Fe, Cu	12	vide

Les dés blancs peuvent être étiquetés. N'hésitez pas à nous faire part de vos idées pour d'autres dés. Dans une deuxième édition, nous pouvons volontiers tenir compte de vos propositions.

## Le montage du dé

Les dés vont être découpés, rainurés et une fois collés, aplatis. Avant la première utilisation, ils doivent être assemblés (par une classe). Sachant qu'il faut faire attention à ce que les dés, une fois assemblés, ne puissent être réouverts sans être démontés. Il est recommandé de revêtir les deux languettes à fixer (en haut et en bas) et de les coller après l'enfilage avec un point de colle afin que tous les côtés du dé soient clos. Ainsi, l'ouverture du dé n'est plus possible.

## Stocker le dé

Si les dés sont montés, ils peuvent être stockés dans une boîte. Les conteneurs UTZ 40 x 30 x 11.7 cm (10 x 7 x 2 = 140 dés) qui peuvent être remplis sur deux étages ont fait leurs preuves.

## Le nettoyage du dé

Les impuretés du dé peuvent être enlevées à l'aide d'un chiffon humide.

## Règles générales du jeu:

Les dés peuvent être tournés ou penchés dans tous les sens tant que l'écriture reste lisible. Si une écriture est à l'envers, alors une transition directe est impossible.

Les dés peuvent aussi être lancés, ce qui apporte au jeu des sels un facteur de chance. Les dés peuvent aussi être empilés pour construire, par exemple, un cristal de sel.

Il serait préférable de jouer uniquement sur une table afin d'éviter les impuretés et dégâts des dés.

A l'aide des copies laminées de flèches de réactions, des flèches d'égalités et éventuellement des coefficients stoechiométriques (1,2,3,4,5,6), des équations de réactions et des réactions d'égalités peuvent être créées correctement.

## Signification des couleurs de l'écriture

Si la couleur de l'écriture change en raison de la rotation du dé, cela signifie que cette transition nécessite une réaction chimique.

## Le dé acide-base

Acide (donne Proton $H^+$ )	Vous tournez ou penchez le dé sur la gauche
Base (prend Proton $H^+$ )	Vous tournez ou penchez le dé sur la droite

Les dés acide-base sont construits de telle manière à ce qu'apparaissent, par rotation des dés, les différentes espèces des acides en jeu et de leur base correspondante. La remise d'un proton à un acide s'effectue par le basculement ou la rotation du dé sur la gauche. L'absorption d'un proton d'une base s'effectue par le basculement ou la rotation du dé sur la droite.

Les constantes d'acide  $pK_a$  sont à chaque fois mentionnées au-dessus des acides correspondants et peuvent en tout temps être vérifiées par le basculement des dés vers l'avant. Cela sert à la mémorisation du  $pK_a$  selon la devise; savoir ou vérifier. Les acides et bases contenant plusieurs protons peuvent ainsi être connus et joués.

## Valeur $pK_a$ ( $pK_s$ )

Les valeurs du tableau « formule, tableau, notion » de la maison d'édition Orell Füssli sont utilisés pour les  $pK_a$ . La variante anglaise ( $pK_s = pK_a = \text{acidity constant}$ ) a été choisie pour les raccourcis des constantes des acides.

## Valeur pH

Le pH est défini ainsi:  $pH = -\log c(H_3O^+(aq))$ . Aux règles du jeu est jointe une échelle de pH qui est listée, laminée et utilisée pour le fonctionnement du jeu. En plus de cela, le tableau démontre la liaison entre le pH- et le pOH-. Les chiffres de couleurs peuvent aussi être utilisés en tant que pH.

## Rédox

Sur les dés de chimie rédox multicolores:

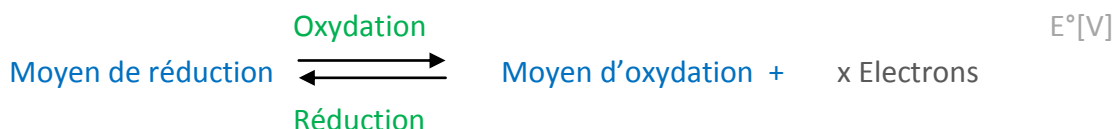
Le moyen de réduction (donateur d'électrons) Mdr

Le moyen d'oxydation (accepteur d'électrons) Mdo

L'oxydation (= donation d'électrons): Vous tournez ou penchez le dé sur la gauche

La réduction (= absorption d'électrons): Vous tournez ou penchez le dé sur la droite.

Schéma de réaction générale:



## Métaux et ions-métalliques

Les dés possédant des métaux ainsi que leurs ions peuvent être utilisés pour la chimie rédox ou pour la formation de sels. Si l'un des dés de métaux non chargé (par ex. magnésium:  $\text{Mg}^\circ$ ) vient à être tourné ou basculé vers la gauche, alors cela signifie une perte d'électrons (oxydation) de laquelle se crée du cation de magnésium  $\text{Mg}^{2+}$ . Une absorption d'électron (réduction) a lieu lorsque le dé est tourné ou basculé vers la droite. L'agent réducteur et l'agent oxydant sont alors toujours l'un à côté de l'autre.

Consciemment n'a été citée l'indication du potentiel de réduction standard  $E^\circ$  [V]. Il est conseillé de mettre à disposition un tableau conforme si besoin.

## Non-métaux et ions non-métalliques

Les dés possédant des non-métaux ainsi que leurs ions peuvent être utilisés pour la chimie rédox ainsi que pour la formation de sels. Si un dé de non-métaux non-charge (par ex. oxygène:  $\text{O}_2^\circ$ ) vient à être tourné ou basculé vers la droite, alors cela signifie une absorption d'électron (réduction) de laquelle se crée le ion d'oxyde  $\text{O}^{2-}$ .

Consciemment n'a pas été citée l'indication du potentiel de réduction standard  $E^\circ$  [V]. Il est conseillé de mettre à disposition un tableau conforme si besoin.

## Sels

Les dés peuvent aussi être utilisés pour la détermination de formules et noms de sels. Nous partons donc du concept que les formules des sels sont aussi toujours représentées par l'écriture dite ionale. Grace aux dés, cette écriture ionale peut être déterminée facilement et les formules des sels peuvent en être déduites.

Les élèves rencontrent souvent de la difficulté lorsqu'il faut différencier les matières élémentaires ( $\text{Mg}^\circ$ ) et les ions ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Vu que les deux formes apparaissent sur le dé, les élèves devraient s'y sensibiliser à l'aide du jeu.

## Choix des couleurs

Dans le tableau ci-joint le choix des couleurs est justifié.

Nr		
1	H <sub>2</sub> O	Couleur de l'eau (turquoise)
2	H <sub>2</sub> S	Couleur du soufre (jaune) en boîte modèle Molymod
3	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	
4	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
5	NH <sub>3</sub>	Couleur de l'azote en boîte modèle Molymod (bleu)
6	HNO <sub>2</sub>	
7	HNO <sub>3</sub>	
8	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Couleur du carbone (graphite) (gris)
9	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Couleur du phosphore en boîte modèle Molymod
10	Na	-
10	Mg	-
10	Al	-
11	Ca	-
11	Zn	-
11	Ag	Couleur argent
12	Fe	-
12	Cu	Couleur du cuivre
13	Pb	-
13	Sn	-
14	N <sub>2</sub>	Couleur de l'azote en boîte modèle Molymod (bleu)
14	O <sub>2</sub>	Couleur de l'oxygène en boîte modèle Molymod (rouge)
14	S	Couleur du soufre (jaune)
15	F <sub>2</sub>	Couleur du gaz fluor (jaune pâle)
15	Cl <sub>2</sub>	Couleur du gaz chlorique (jaune-vert)
15	Br <sub>2</sub>	Couleur du gaz bromique (orange)
16	leer	

## Commande

Les dés peuvent être commandés en tant qu'assortiment pour demi-classe (204 dés), paquet de modèles (16 dés) ou encore en nombre voulu au VSN-shop.

[www.vsn-shop.ch](http://www.vsn-shop.ch)



## Niveau scolaire et âge correspondant

Pour chaque règle de jeu, le niveau scolaire des élèves est indiqué afin que le jeu soit **approprié** (relativement approprié).

Des façons de jouer simplifiées ou adaptées peuvent aussi fonctionner pour d'autres niveaux scolaires.

Age	10	11	12	13	14	15	16	17	18	>19
Niveau scolaire	4	5	6	7	8	9	10	11	12	FH
	EP	EP	EP	Sec I	Sec I	Sec I	Sec II	Sec II	Sec II	HE/UNI

## Rôle du professeur

Les dés permettent la découverte de connaissances, soit par la distribution des règles du jeu ou soit par une courte explication du professeur. Suivant le jeu, le professeur peut prendre la fonction de meneur du jeu.

Dans des jeux comme «Titration d'un acide» ou «... d'une base», une expérience peut accompagner le jeu.

Le professeur devrait personnellement choisir ce que les élèves doivent retenir et sous quelle forme et devrait aussi mettre à disposition des feuilles de tableaux conformes ou des modèles pour une interprétation. Certaines instigations et réflexions à ce propos se trouvent dans les règles du jeu (et plus tard sur le site).

Si des tableaux sont nécessaires durant le jeu (par ex. la constante d'acidité, le potentiel de réduction, la solubilité des produits, la solubilité des sels, etc.), ils devraient être mis à disposition.

## Rôle des élèves

Jouer à l'aide des dés et apprendre grâce au jeu soit tout seul, soit en petit groupe ou encore avec toute la classe. Retenir ces résultats et en discuter. Grâce au jeu, la légalité et la théorie de base doivent être apprises. Les élèves doivent aussi élaborer des stratégies en petits groupes afin de pouvoir affronter un autre groupe (mode combat).

# ChemCube - Formules des sels

4	5	6	7	8	9	10	11	12	HS
---	---	---	---	---	---	----	----	----	----

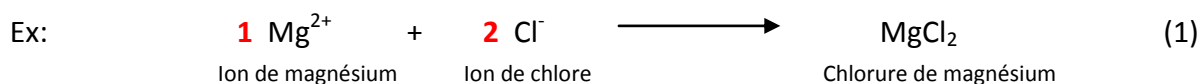
## 1.1 Sels, formules des sels, écriture des ions

### Théorie

Les sels sont des liaisons ioniques. Ils sont constitués par des cations chargés positivement (+, 2+, 3+, ...) et des anions chargés négativement (-, 2-, 3-, ...). Dans le tableau (voir au verso) sont rassemblés les formules ioniques et leurs noms corrects.

Le nom du sel se forme à l'aide du nom des cations (par ex. le sodium, le magnésium, ...) précédé du nom des anions, qui se finit généralement par un suffixe (-ure, -ite, -ate), comme par exemple pour le chlorure (Cl<sup>-</sup>), le sulfure- (S<sup>2-</sup>), pour le sulfite (SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) ou aussi le sulfate (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>).

Les sels sont généralement non chargés, c'est-à-dire que leurs charges des cations et des anions s'annulent mutuellement. La relation entre les cations et les anions est redonnée dans la formule du sel mais pas dans le nom du sel. (1)



Jetez un dé métallique (ligne du haut) jusqu'à ce qu'un cation se trouve sur le haut du dé et jeter un dé « non-métallique » (ligne du bas), jusqu'à ce qu'un anion se trouve sur le haut du dé. Complétez-les alors avec assez de cations (**x**) et d'anions (**y**) afin que les charges des ions s'annulent mutuellement. Notez premièrement la relation ionique dans un tableau (1. écriture ionique), déduisez-en ensuite la formule du sel (2.) et donnez finalement le nom juste au sel traité (3.). En faisant cela, veillez à ce que le nom du sel soit unique (voir au verso).

1. Ecriture ionique		2. Formule du sel	3. Nom du sel
<b>x</b> Cation/s	<b>y</b> Anion/s		
<b>1</b> Mg <sup>2+</sup>	<b>2</b> Cl <sup>-</sup>	MgCl <sub>2</sub>	Chlorure de magnésium

Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Sn	Cu	Fe	Ca <sup>2+</sup>	Zn	Ag <sup>+</sup>
			N <sup>3-</sup>	S <sup>2-</sup>	O <sup>2-</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Br <sup>-</sup>

## 1.1 Sels, formules des sels, écriture des ions (ff)

**Tableau** des ions simples et des ions composés (les ions en **gras** sont à savoir)

<i>Kation</i>	<i>Name</i>	<i>Anion</i>	<i>Name</i>
<b>Li<sup>+</sup></b>	Lithium-	<b>F<sup>-</sup></b>	Fluorure
<b>Na<sup>+</sup></b>	Sodium-	<b>Cl<sup>-</sup></b>	Chlorure
<b>K<sup>+</sup></b>	Potassium-	<b>Br<sup>-</sup></b>	Bromure
<b>Ag<sup>+</sup></b>	Argent-	<b>O<sup>2-</sup></b>	Oxyde
<b>Be<sup>2+</sup></b>	Béryllium-	<b>S<sup>2-</sup></b>	Sulfure
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	Magnésium-	<b>N<sup>3-</sup></b>	Nitrure
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	Calcium-	(NO <sub>2</sub> ) <sup>-</sup>	Nitrite
Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup>	Fer(II)-, Fer(III)-	<b>(NO<sub>3</sub>)<sup>-</sup></b>	Nitrate
Cu <sup>+</sup> , Cu <sup>2+</sup>	Cuivre(I)-, Cuivre(II)-	<b>(OH)<sup>-</sup></b>	Hydroxyde
Zn <sup>2+</sup>	Zinc-	(CH <sub>3</sub> COO) <sup>-</sup>	Acétate
Pb <sup>2+</sup> , Pb <sup>4+</sup>	Plomb(II), Plomb (IV)	<b>(CO<sub>3</sub>)<sup>2-</sup></b>	Carbonate
<b>Al<sup>3+</sup></b>	Aluminium-	<b>(HCO<sub>3</sub>)<sup>-</sup></b>	Hydrogencarbonate
Sn <sup>2+</sup> , Sn <sup>4+</sup>	Etain(II)-, Etain(IV)-	(SO <sub>3</sub> ) <sup>2-</sup>	Sulfite
Ti <sup>2+</sup> , Ti <sup>4+</sup>	Titan(II)-, Titan(IV)-	<b>(SO<sub>4</sub>)<sup>2-</sup></b>	Sulfate
Cr <sup>3+</sup> , Cr <sup>6+</sup>	Chrome(III)- Chrome(VI)-	<b>(HSO<sub>4</sub>)<sup>-</sup></b>	Hydrosulfate
Ni <sup>2+</sup> , Ni <sup>3+</sup>	Nickel(II)-, Nickel(III)-	<b>(PO<sub>4</sub>)<sup>3-</sup></b>	Phosphate
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	Ammonium-	<b>(HPO<sub>4</sub>)<sup>2-</sup></b>	Hydrogenphosphate
<b>H<sub>3</sub>O<sup>+</sup></b>	Le ion oxonium ne forme pas de sel !	<b>(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sup>-</sup></b>	Dihydrogenphosphate

### Jeu 2

Beaucoup d'anions sont des ions de molécules qui sont formés par différents atomes de non-métaux.

Jetez les dés des anions dès à présent avec les dés de la ligne du dessous.

Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Sn	Cu	Fe	Ca <sup>2+</sup>	Zn	Ag <sup>+</sup>
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	HNO <sub>2</sub>	HNO <sub>3</sub>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>

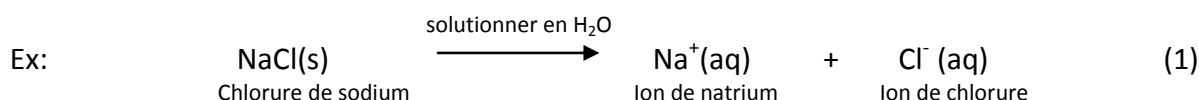
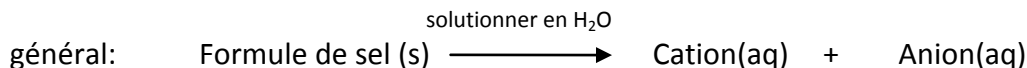
# ChemCube - La dissolution des sels



## 1.2 La mise en solution des sels facilement solubles

### Théorie

La mise en solution des sels (liaisons-ioniques) dans l'eau peut être représentée comme ci-dessous



Les sels facilement solubles se laissent souvent dissoudre dans l'eau en grande quantité. Avec le sel de cuisine, par exemple, la solubilité se situe à env. 358g/l. Par ion soluble, se trouvent encore à disposition 4-5 particules d'eau qui englobent ce ion. Démontrez, comment vous pouvez englober les deux dés  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  à l'aide de 9 dés d'eau. Utilisez les 3 dimensions de la pièce.

### Jeu: Le sel le plus soluble gagne

Jeu pour 3-4 élèves, 1 Ipad ou tablette pour les recherches internet

1. Joueur/euse ... lance un dé métallique de la première ligne des cations et avec un dé non-métallique de la 2<sup>ème</sup> ou 3<sup>ème</sup> ligne des anions. Ecrire les formules des sels et les noms des sels. Recherchez sur internet la solubilité des sels dans l'eau et les noter.
2. Joueur/euse ... choisit un autre dé métallique et le lance afin d'obtenir un autre cation. Démontrez les formules des sels et les noms des sels et recherchez leur solubilité. Le/la joueur/euse ayant obtenu(e) le sel le plus soluble (1 ou 2) gagne et reçoit un point.
3. Joueur/euse ... choisit un autre dé non-métallique et le lance afin d'obtenir un autre anion. Démontrez les formules des sels et les noms des sels et recherchez leur solubilité. Le/la joueur/euse ayant obtenu(e) le sel le plus soluble (2 ou 3) gagne et reçoit un point.

etc.

Quelles stratégies amènent à la victoire ? Mettez au défi un autre groupe pour un duel !

$\text{Na}^\circ$	$\text{Mg}^\circ$	$\text{Al}^\circ$	$\text{Sn}^\circ$	$\text{Cu}^\circ$	$\text{Fe}^\circ$	$\text{Ca}^\circ$	$\text{Zn}^\circ$	$\text{Ag}^\circ$
	°	°	$\text{N}_2^\circ$	$\text{S}^\circ$	$\text{O}_2^\circ$	$\text{F}_2^\circ$	$\text{Cl}_2^\circ$	$\text{Br}_2^\circ$
$\text{H}_2\text{CO}_3$	$\text{H}_2\text{SO}_3$	$\text{H}_2\text{SO}_4$	$\text{H}_2\text{S}$	$\text{NH}_3$	$\text{HNO}_2$	$\text{HNO}_3$	$\text{H}_3\text{PO}_4$	$\text{H}_3\text{O}^+$

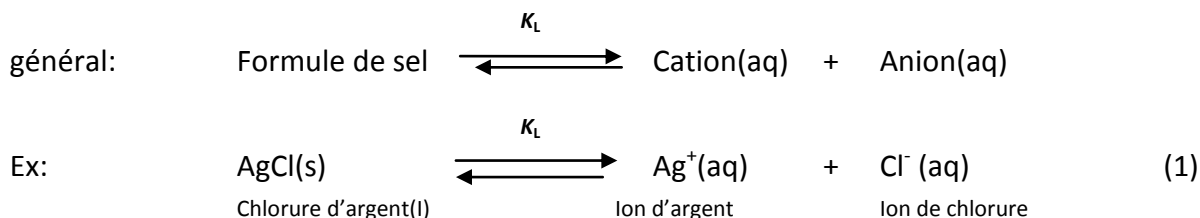
# ChemCube - La dissolution de sels

4	5	6	7	8	9	10	11	12	HS
---	---	---	---	---	---	----	----	----	----

## 1.3 La mise en solution de sels peu solubles

### Théorie

Les sels peu solubles ne se dissolvent souvent pas totalement, mais laissent un dépôt. Entre le dépôt et les ions dissous se forme un équilibre de solubilité (1) qui est décrit par une double flèche (flèche d'équilibre).



L'équilibre de solubilité peut être décrit mathématiquement par le produit de solubilité  $K_L$  (2). En raison de cela, les concentrations des ions dissous sont multipliés entre eux.

Calcul: 
$$K_L(\text{AgCl}) = c(\text{Ag}^+(\text{aq})) * c(\text{Cl}^-(\text{aq})) = 2 \cdot 10^{-10} \quad (2)$$

Le produit de solubilité est constant à une certaine température pour un sel. Sur le tableau au verso sont listés les produits de solubilité ( $K_L$ ) pour différents sels peu solubles.

### Jeu: Le sel le moins soluble gagne

Jeu pour 3-4 joueurs, un i-Pad ou une tablette pour les recherches internet

1. Joueur/euse ... lance un dé métallique de la première ligne des cations et avec un dé non-métallique de la 2<sup>ème</sup> ou 3<sup>ème</sup> ligne des anions. Ecrire les formules des sels et les noms des sels. Recherchez sur internet la solubilité des sels dans l'eau et les noter.
  2. Joueur/euse ... choisit un autre dé métallique et le lance afin d'obtenir un autre cation. Démontrez les formules des sels et les noms des sels et recherchez leur solubilité. Le/la joueur/euse ayant obtenu(e) le sel le moins soluble (1 ou 2) gagne et reçoit un point.
  3. Joueur/euse ... choisit un autre dé non-métallique et le lance afin d'obtenir un autre anion. Démontrez les formules des sels et les noms des sels et recherchez leur solubilité. Le/la joueur/euse ayant obtenu(e) le sel le moins soluble (2 ou 3) gagne et reçoit un point.
- etc.

Quelles stratégies amènent à la victoire ? Mettez au défi un autre groupe pour un duel !

Na°	Mg°	Al°	Sn°	Cu°	Fe°	Ca°	Zn°	Ag°
	°	°	N <sub>2</sub> °	S°	O <sub>2</sub> °	F <sub>2</sub> °	Cl <sub>2</sub> °	Br <sub>2</sub> °
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	HNO <sub>2</sub>	HNO <sub>3</sub>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>

Tableau: le produit de solubilité (valeur pK<sub>L</sub>) de différents sels peu solubles.

Source: recueille de formules de Urs Wuthier

	pK <sub>L</sub>		pK <sub>L</sub>
AgBr	12.1	FeC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	6.7
AgBrO <sub>3</sub>	4.2	Fe(OH) <sub>2</sub>	13.8
Ag <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	11.2	FeS	18.4
AgCl	9.8	Fe(OH) <sub>3</sub>	36.0
Ag <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	11.0		
Ag <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	6.7	HgBr	20.9
AgI	15.8	HgCl	17.7
AgIO <sub>3</sub>	8.0	HgI	27.9
AgOH	7.8	HgS	52.4
Ag <sub>2</sub> S	48.8		
AgSCN	11.9	MgCO <sub>3</sub>	4.6
		MgC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	4.1
Al(OH) <sub>3</sub>	32.3	MgF <sub>2</sub>	8.2
		MgNH <sub>4</sub> PO <sub>4</sub>	12.6
		Mg(OH) <sub>2</sub>	10.9
BaCO <sub>3</sub>	8.1		
BaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	6.8	Mn(OH) <sub>2</sub>	13.4
BaCrO <sub>4</sub>	9.7	MnS	14.9
BaF <sub>2</sub>	5.8		
Ba(IO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	9.2	NiCO <sub>3</sub>	6.9
BaSO <sub>4</sub>	10.0	Ni(OH) <sub>2</sub>	14.0
		NiS	23.9
CaCO <sub>3</sub>	8.1		
CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	8.6	PbCO <sub>3</sub>	13.5
CaF <sub>2</sub>	10.4	PbC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	10.6
Ca(IO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	6.2	PbCrO <sub>4</sub>	13.8
CaSO <sub>4</sub>	4.6	PbF <sub>2</sub>	7.5
		PbI <sub>2</sub>	7.9
CdC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	7.8	Pb(IO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	12.6
Cd(OH) <sub>2</sub>	13.9	Pb(OH)	15.6
CdS	28.4	PbS	27.5
		PbSO <sub>4</sub>	8.0
CoS	25.5		
		SnS	28.0
CuBr	7.4		
CuI	11.3	SrCO <sub>3</sub>	8.8
Cu <sub>2</sub> S	46.7	SrC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	7.3
CuSCN	10.8	SrF <sub>2</sub>	8.6
CuC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	7.5	SrSO <sub>4</sub>	6.4
Cu(IO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	6.9		
Cu(OH) <sub>2</sub>	19.8	ZnCO <sub>3</sub>	10.2
CuS	44.1	ZnC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	8.9
		Zn(OH) <sub>2</sub>	13.7
		ZnS	22.9

Def:  $pK_L = -\log K_L$       $K_L = 10^{-pK_L}$

Abschätzen der Gleichgewichts-  
konzentration GGK für die Löslichkeit von  
schlecht löslichen Salzen:



$$K_L(\text{AgCl}) = c(\text{Ag}^+(\text{aq})) * c(\text{Cl}^-(\text{aq})) \\ = 2 \cdot 10^{-10} \frac{\text{mol}^2}{\text{L}^2}$$

unter der Annahme dass gilt:

$$c(\text{Ag}^+(\text{aq})) = c(\text{Cl}^-(\text{aq})) = \sqrt{K_L} = \text{GGK}$$

GGK bestimmen für...

Salze aus 2 Ionen (AgCl, CaSO<sub>4</sub>, ...):

$$\text{GGK} = \sqrt{K_L \frac{\text{mol}^2}{\text{L}^2}} = 10^{-\frac{pK_L}{2}} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

Salze aus 3 Ionen (CaF<sub>2</sub>, Fe(OH)<sub>2</sub>, ...)

$$\text{GGK} = \sqrt[3]{K_L \frac{\text{mol}^3}{\text{L}^3}} = 10^{-\frac{pK_L}{3}} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

Salze aus 4 Ionen (Al(OH)<sub>3</sub>, Fe(OH)<sub>3</sub>, ...)

$$\text{GGK} = \sqrt[4]{K_L \frac{\text{mol}^4}{\text{L}^4}} = 10^{-\frac{pK_L}{4}} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

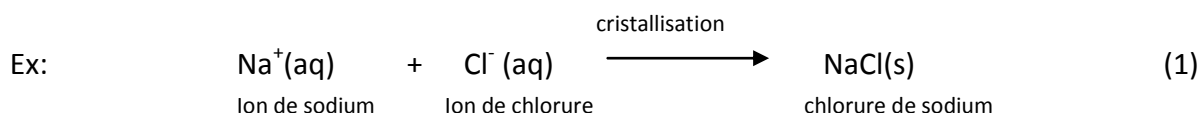
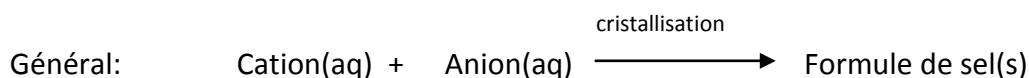
# ChemCube - La dissolution des sels

4	5	6	7	8	9	10	11	12	HS
---	---	---	---	---	---	----	----	----	----

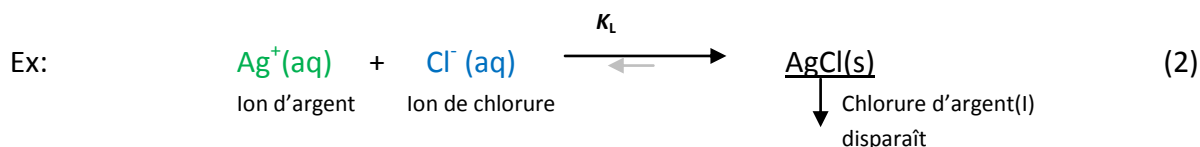
## 1.4 Cristallisation des sels

### Théorie

Les sels se cristallisent, par l'évaporation, resp. par l'évaporation de l'eau (dissolvant).



On peut aussi cristalliser des sels ciblés, en **ajoutant un ion**, qui forment un sel peu soluble avec le **ion donné** (comparer avec le tableau de  $pK_L$ ). Ainsi on peut extraire du sel de cuisine (NaCl) dilué les ions de chlorure  $\text{Cl}^-(\text{aq})$  contenus, resp. rendre la cristallisation visible en y ajoutant des **ions d'argent**  $\text{Ag}^+(\text{aq})$  qui produisent un sel peu soluble avec les ions de chlorure  $\text{Cl}^-(\text{aq})$ . Ce sel peut alors être présenté sous forme de sédiment, filtré et séparé.



### Jeu: Cristallisation des sels - justification de ions (3 personnes)

**Joueur 1** Vous choisissez un dé et **jetez** un **ion**, qui doit être supprimé.

**Joueur 2 et 3\*** Vous cherchez les deux un dé avec un **contre-ion** qui forme un sel peu soluble avec le **ion** recherché. (30 Sec)                      Roulez ! 9 Tours.

\*Variante: **joueur 2** seulement avec l'ipad ou la tablette/ **joueur 3** seulement avec le tableau des  $pK_L$ .

Résultat (Recherche avec l'ipad ou la tablette **ou** supposer la **concentration d'équilibre CE** en rapport avec les règles du jeu à côté du tableau avec les produits de solubilité  $pK_L$ )

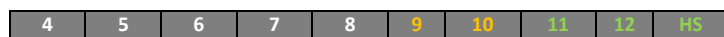
Points: Joueurs 2 et 3 ne trouvent pas de **contre-ions**.—> **Joueur 1** gagne deux points, Seulement **un** joueur (2 ou 3) trouve un **contre-ion**. Ce joueur gagne 1 point.

Le joueur avec les **meilleurs contre-ions**, c'est-à-dire le CE le plus bas resp. solubilité gagne deux points.

Chaque joueur 1x

Na°	Mg°	Al°	Sn°	Cu°	Fe°	Ca°	Zn°	Ag°
	°	°	N <sub>2</sub> °	S°	O <sub>2</sub> °	F <sub>2</sub> °	Cl <sub>2</sub> °	Br <sub>2</sub> °
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	HNO <sub>2</sub>	HNO <sub>3</sub>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>

# ChemCube - Acides et bases

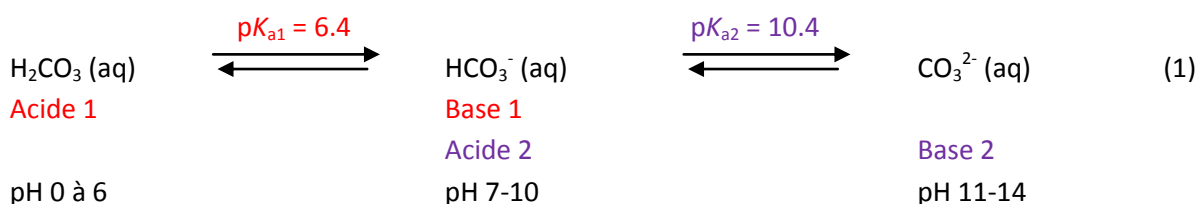


## 2.1 Quelle espèce se trouve à quel pH?

Préparation:

Vous étalez sur la table de jeu les dés-acides-bases qui sont joués par 3 à 6 joueurs. Pour chaque joueur devrait être utilisé au moins une fois chaque dé. Les dés sont triés afin que les formes d'acides avec des protons soient sur le haut du dé ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{HNO}_2$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_3\text{O}^+$ , ...). Les taux de  $pK_a$  (constante d'acide  $pK_s$ ) pour cette espèce sont inscrits sur le côté. Si l'on penche le dé en avant on peut les vérifier si on ne les sait pas par coeur.

Le dé peut maintenant être penché vers la gauche afin que le côté droit se trouve en haut. Si plusieurs espèces existent, on peut continuer de tourner:



Le dé est alors tourné de l'acide 1 jusqu'à la base 1 correspondante jusqu'à ce que le pH soit plus élevé que le  $pK_{a1}$  de l'acide 1.

Si on commence avec des conditions basiques par exemple un pH de 14, alors on commence avec la base 2. Si on abaisse le pH de la solution, alors on tourne le dé vers la droite sur son acide 2 correspondant quand le pH est plus bas que le  $pK_{a2}$  de l'acide 2 correspondant.

**Jeu 1:** On commence avec une solution saline avec un taux de pH = 0.

pH = 0 Tournez tous les dés à espèces vers le haut qui se situent au pH=0.

Que remarque-t-on ? Sous quelle forme se situe les différents acides au pH=0 ?

pH = 1 Qu'est-ce qui arrive lorsqu'on augmente le pH à 1?

Augmenter le pH en continu de 1.

pH = 7 Sous quelle forme se trouvent les différentes bases et acides au pH 7 ? Augmenter le pH en continu de 1.

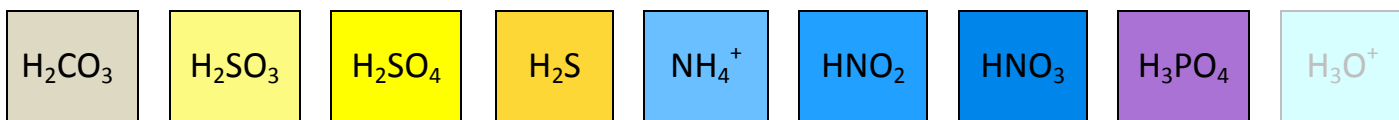
pH = 14 Sous quelle forme se trouvent les différentes bases et acides au pH 14 ?

**Jeu 2:** On commence avec une solution basique avec un taux de pH=14.

pH = 14 Commencez avec un taux de pH à 14 et baissez le taux de pH graduellement.

pH = 0 ...

Chaque joueur 1x





# ChemCube - Acides et bases

4	5	6	7	8	9	10	11	12	H5
---	---	---	---	---	---	----	----	----	----

## 2.2 Le rapport entre le pH et le $pK_a$

### Théorie

La valeur  $pK_a$  (acidité constant : l'acidité constante  $pK_s$ ) est pour la valeur du pH, pour laquelle existe la forme d'acide **HB** et la forme de base **B<sup>-</sup>**, chacun avec un rapport 1:1 ou 50% : 50%. Pour cette valeur de pH, il existe alors 5 des 10 dés qui se trouvent sous la forme protonique (acide) et les 5 autres dés sous la forme dé-protonique (base).

Quand la valeur du pH se situe en-dessous de la valeur du  $pK_a$ , par exemple quand le  $pH=pK_a -1$ , alors 10% des espèces se situent en forme de base dé-protonique (**B<sup>-</sup>**) et 90% en forme acide protonique (HB). Quand cette valeur de pH est atteinte, les 10 premiers dés seront tournés.

Quand on augmente la valeur du pH à  $pH=pK_a+1$ , 90% des espèces se situent dans la forme basique dé-protonique (**B<sup>-</sup>**) et 10% dans la forme d'acide protonique (HB).

	Acide (HB)	Base (B <sup>-</sup> )
$pH = pK_a - 2$	99 %	1 %
$pH = pK_a - 1$	90 %	10 %
<b><math>pH = pK_a</math></b>	<b>50 %</b>	<b>50 %</b>
$pH = pK_a + 1$	10 %	90 %
$pH = pK_a + 2$	1 %	99 %

	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (aq)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (aq)
$pH = 4.4$	99 %	1 %
$pH = 5.4$	90 %	10 %
<b><math>pH = 6.4</math></b>	<b>50 %</b>	<b>50 %</b>
$pH = 7.4$	10 %	90 %
$pH = 8.4$	1 %	99 %

Préparation: Sur la table, vous placez devant vous 10 dés d'une même sorte (par exemple: acide carbonique (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>(aq))).

### Début du jeu:

$pH = 0$  Placez tous les dés sur la table de telle sorte que toutes les espèces qui se situent au  $pH=0$  se voient depuis le haut.

$pH = pK_{a1} - 1$  Augmentez gentiment la valeur du pH jusqu'à ce que la première valeur du pH soit atteinte et donne :  $pH = pK_{a1} -1$ . Maintenant, on tourne le premier dé de l'acide (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>(aq)) afin que la base correspondante (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>(aq)) soit tournée vers le haut (penchez le dé vers la gauche).

$pH = pK_{a1}$  Augmentez le pH doucement afin que le pH soit égal à  $pK_{a1}$  ( $pH=pK_{a1}$ ). Pendant ce temps, quatre autres dés sont tournés afin que soit affichée la moitié des espèces dé-protonisées, c'est-à-dire sous forme de base.

$pH = pK_{a1} + 1$  Tournez quatre autres dés afin que 90 % des espèces en forme de bases soient affichées.

$pH = pK_{a1} + 2$  Tournez le dernier dé vu que seulement 99% des espèces en forme de bases sont affichés.

Si pendant ce temps le  $pH = pK_{a2} -1$

- Rejouez avec 10 dés d'acides d'une autre sorte: (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, HNO<sub>2</sub>, HNO<sub>3</sub>, ...)
- Rejouez avec 10 dés contenant 3 à 4 sortes.
- Rejouez en tant que groupe avec différents nombres de dés d'acides.

H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	HNO <sub>2</sub>	HNO <sub>3</sub>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>
--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	------------------	------------------------------	------------------	------------------	--------------------------------	-------------------------------

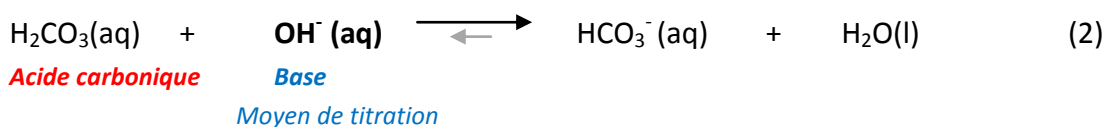
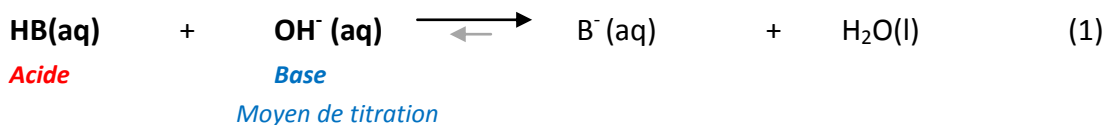
# ChemCube - Acides et bases

4	5	6	7	8	9	10	11	12	HS
---	---	---	---	---	---	----	----	----	----

## 2.3 Titration d'un acide avec de la soude caustique

### Théorie

Durant cette première titration un **acide** réagit avec une **base** forte, par ex. avec de la soude caustique (solution d'hydroxyde de sodium) comme **moyen de titration**. L'acide **HB(aq)** réagit alors avec le ion d'hydroxyde **OH<sup>-</sup>(aq)** et est dé-protonisée (1):



	pK <sub>a</sub> <b>Acide (HB)</b>	Base (B)
pH = pK <sub>a</sub> - 2	99 %	1 %
pH = pK <sub>a</sub> - 1	90 %	10 %
<b>pH = pK<sub>a</sub></b>	<b>50 %</b>	<b>50 %</b>
pH = pK <sub>a</sub> + 1	10 %	90 %
pH = pK <sub>a</sub> + 2	1 %	99 %

	pK <sub>a</sub> =6.4 <b>H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>(aq)</b>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (aq)
pH = 4.4	99 %	1 %
pH = 5.4	90 %	10 %
<b>pH = 6.4</b>	<b>50 %</b>	<b>50 %</b>
pH = 7.4	10 %	90 %
pH = 8.4	1 %	99 %

### Préparation:

Vous placez 10 dés d'une sorte (par ex. acide carbonique (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>(aq))) devant vous sur la table et prenez dans votre main 1 dé d'eau avec le ion d'hydroxyde OH<sup>-</sup>(aq) tourné vers le haut. Et c'est parti:

pH = pK<sub>a1</sub> - 2 Premier taux de pH de la titration: poser les 10 dés sur la table, de telle sorte à ce que les espèces ayant le pH = pK<sub>a1</sub> - 2 soient inscrites sur le haut du dé.

**Départ** Vous commencez la titration en laissant réagir le dé **OH<sup>-</sup>** dans votre main avec le premier dé **H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>**. Les deux dés sont conformément tournés. Le pH monte: pH = pK<sub>a1</sub> - 1

pH = pK<sub>a1</sub> - 1 Vous prenez le dé **OH<sup>-</sup>** à nouveau dans votre main et répétez cette réaction 4 fois. Alors la moitié du dé sera déprotonisé c'est-à-dire: pH = pK<sub>a1</sub>

pH = pK<sub>a1</sub> Vous prenez le dé **OH<sup>-</sup>** à nouveau dans la main et répétez la manoeuvre 4 fois. Alors 90 % seront déprotonisés, c'est-à-dire: pH = pK<sub>a1</sub> + 1

pH = pK<sub>a1</sub> + 1 Laissez aussi réagir le dernier dé afin que 99% des espèces soient en forme de bases et que le pH soit: pH = pK<sub>a1</sub> + 2.

- Qu'est-ce qui arrive si vous continuez à titrer? C'est-à-dire à continuer d'ajouter des dés d' **OH<sup>-</sup>**?
- Choisissez 10 dés (ou un chiffre inférieur) d'un autre acide et titrez-le!
- Faites un pronostic de quels acides se laissent bien titrer et lesquels non.
- 

10x	1x
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> S
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	HNO <sub>2</sub>
HNO <sub>3</sub>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
	OH <sup>-</sup>

# ChemCube - Acides et bases

4	5	6	7	8	9	10	11	12	HS
---	---	---	---	---	---	----	----	----	----

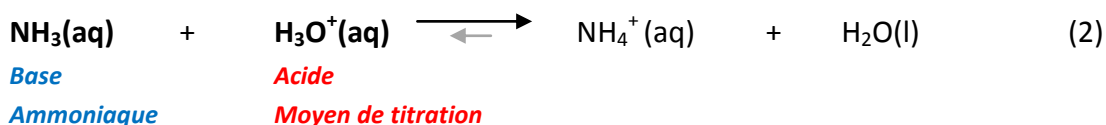
## 2.4 Titration d'une base avec un acide fort

### Théorie

Durant cette première titration, nous laissons réagir une base avec un acide fort, par exemple l'acide chlorhydrique ( $c(\text{HCl}) = 1 \text{ mol/L}$ ;  $\text{pH} = 0$ ). Comme l'acide chlorhydrique au  $\text{pH} = 0$  est totalement dé-protonisé ( $\text{p}K_a = -6$ ), alors l'espèce active est le ion  $\text{H}_3\text{O}^+$  (1) :



Le ion  $\text{H}_3\text{O}^+$  réagit pendant la titration avec la base:



	$\text{p}K_a$	
	Acide (HB)	Base (B <sup>-</sup> )
$\text{pH} = \text{p}K_a + 2$	1 %	99 %
$\text{pH} = \text{p}K_a + 1$	10 %	90 %
<b><math>\text{pH} = \text{p}K_a</math></b>	<b>50 %</b>	<b>50 %</b>
$\text{pH} = \text{p}K_a - 1$	90 %	10 %
$\text{pH} = \text{p}K_a - 2$	99 %	1 %

	$\text{p}K_a=9.2$	
	$\text{NH}_4^+(\text{aq})$	$\text{NH}_3(\text{aq})$
$\text{pH} = 11.2$	1 %	99 %
$\text{pH} = 10.2$	10 %	90 %
<b><math>\text{pH} = 9.2</math></b>	<b>50 %</b>	<b>50 %</b>
$\text{pH} = 8.2$	90 %	10 %
$\text{pH} = 7.2$	99 %	1 %

**Préparation :** Vous placez 10 dés d'une sorte (par ex. ammoniacque ( $\text{NH}_3(\text{aq})$ )) devant vous sur la table et prenez dans votre main 1 dé d'eau avec le ion  $\text{H}_3\text{O}^+$  tourné vers le haut.

$\text{pH} = \text{p}K_{a1} + 2$  Premier taux de pH de la titration: posez les 10 dés sur la table, de telle sorte à ce que les espèces ayant le  **$\text{pH} = \text{p}K_{a1} + 2$**  soient inscrites sur le haut du dé, c'est-à-dire, le  $\text{NH}_3(\text{aq})$  sur la face du haut.

**Départ** Vous commencez la titration en laissant réagir le dé  $\text{H}_3\text{O}^+$  dans votre main avec le premier d'ammoniacque. Les deux dés sont tournés. Le pH monte:  $\text{pH} = \text{p}K_{a1} + 1$

$\text{pH} = \text{p}K_{a1} + 1$  Vous prenez à nouveau le dé  $\text{H}_3\text{O}^+$  dans votre main et répétez cette réaction 4 fois. Alors la moitié du dé sera protonisée c'est-à-dire:  $\text{pH} = \text{p}K_{a1}$

$\text{pH} = \text{p}K_{a1}$  Vous prenez à nouveau le dé  $\text{H}_3\text{O}^+$  dans la main et répétez la manoeuvre 4 fois. Alors 90 % seront protonisés, c'est-à-dire:  $\text{pH} = \text{p}K_{a1} - 1$

$\text{pH} = \text{p}K_{a1} - 1$  Laissez aussi réagir le dernier dé afin que 99% des espèces soient en forme protonisée et que le pH soit:  $\text{pH} = \text{p}K_{a1} - 2$

**Extrémité** Si vous ajoutez à nouveau le dé  $\text{H}_3\text{O}^+$ , celui-ci ne trouvera plus de partenaire de réaction. Le pH diminue brusquement. La fin de la titration est atteinte.

Répétez le jeu avec une autre base (voir ci-dessous).

$\text{H}_2\text{CO}_3$	$\text{H}_2\text{SO}_3$	$\text{H}_2\text{SO}_4$	$\text{H}_2\text{S}$	$\text{NH}_3$ <span style="font-size: small;">10x</span>	$\text{HNO}_2$	$\text{HNO}_3$	$\text{H}_3\text{PO}_4$	$\text{H}_3\text{O}^+$ <span style="font-size: small;">1x</span>
-------------------------	-------------------------	-------------------------	----------------------	--	----------------	----------------	-------------------------	--

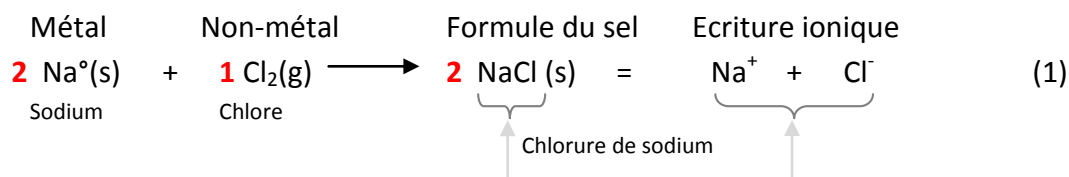
# ChemCube - Rédox

4	5	6	7	8	9	10	11	12	HS
---	---	---	---	---	---	----	----	----	----

## 3.1 Métaux réagissant avec des non-métaux produisant un sel

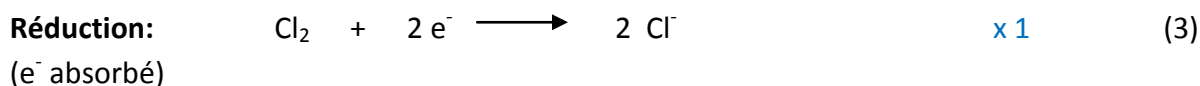
### Théorie

Lors de la réaction des métaux et des non-métaux se forment des sels, c'est-à-dire une liaison ionique.



Si l'on présente la formule de sel en écriture ionique, alors on remarque, qu'à partir d'atomes élémentaires non chargés, se créent des ions lors de la formation du sel, c'est-à-dire que les électrons sont déplacés. Il s'agit alors d'une réaction rédox.

Pendant ce temps le métal est oxydé, c'est-à-dire qu'il donne des électrons. Le non-métal est réduit, c'est-à-dire qu'il prend des électrons.



### Préparation:

Choisissez un **métal** (4x) et un **non-métal** (4x). Préparer les 4 dés des métaux sur le côté gauche et les 4 non-métaux au centre de la table. Combinez alors une liaison ionique, de telle sorte que la somme des charges des ions s'équilibre. A partir de là se crée l'écriture ionique et de ce fait la formule du sel (1).

Notez l'équilibre de réaction (1), la réaction partielle de l'oxydation (2) et la réduction (3) ainsi que le [bilan des électrons](#) (4).

Métal	+	Non-métal	→	Formule de sel = Ecriture ionique
				e <sup>-</sup> - Bilan
<b>Oxydation:</b>				
<b>Réduction:</b>				

Na <sup>°</sup>	Mg <sup>°</sup>	Al <sup>°</sup>	Sn <sup>°</sup>	Cu <sup>°</sup>	Fe <sup>°</sup>	Ca <sup>°</sup>	Zn <sup>°</sup>	Ag <sup>°</sup>
	°	°	N <sub>2</sub> <sup>°</sup>	S <sup>°</sup>	O <sub>2</sub> <sup>°</sup>	F <sub>2</sub> <sup>°</sup>	Cl <sub>2</sub> <sup>°</sup>	Br <sub>2</sub> <sup>°</sup>

# ChemCube - Redox

4	5	6	7	8	9	10	11	12	HS
---	---	---	---	---	---	----	----	----	----

## 3.2 Reconnaître la réaction rédox - nombre d'oxydation

### Règle

Les changements de couleurs de l'écriture au cours du tournage du dé démontre qu'il se passe un processus chimique. Il existe aussi des espèces qui sont présentes sur deux dés. Cherchez ces dés qui ont quelque chose en commun et triez-les par groupes. Choisissez un groupe et essayez d'expliquer le processus chimique qui se produit dans ce groupe et durant le changement de couleur lors de la rotation du dé.

### Exercice:

- Formulez aussi pour chacun l'égalité d'équation.
- S'agit-il lors de cette réaction d'une réaction rédox? Utilisez des nombres d'oxydation.
- Si oui, notez la réaction partielle de l'oxydation et de la réaction. Si ce n'est pas le cas, argumentez votre réponse.

### Résultats

#### Equation de réduction:

#### Lewis:

$e^-$  - Bilan

Oxydation:

( $e^-$  donné)

Réduction:

( $e^-$  absorbé)



Tous lancent le dé 1x

Na°	Mg°	Al°	Sn°	Cu°	Fe°	Ca°	Zn°	Ag°
	°	°	N <sub>2</sub> °	S°	O <sub>2</sub> °	F <sub>2</sub> °	Cl <sub>2</sub> °	Br <sub>2</sub> °
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	HNO <sub>2</sub>	HNO <sub>3</sub>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>

# ChemCube - Potentiel de réduction E°

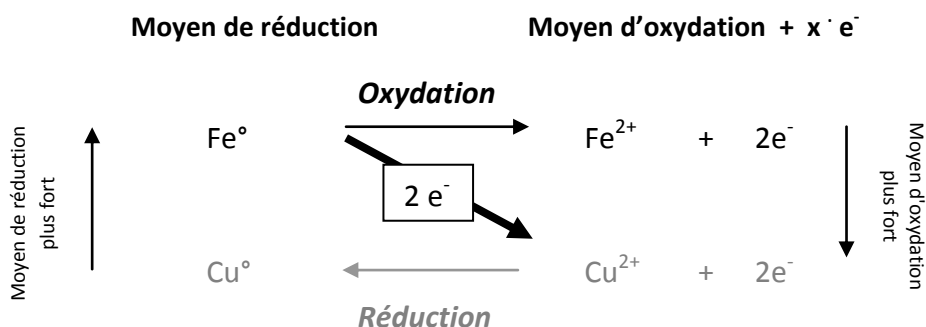
4	5	6	7	8	9	10	11	12	HS
---	---	---	---	---	---	----	----	----	----

## 3.3 Réactions rédox qui se déroulent réellement et E°

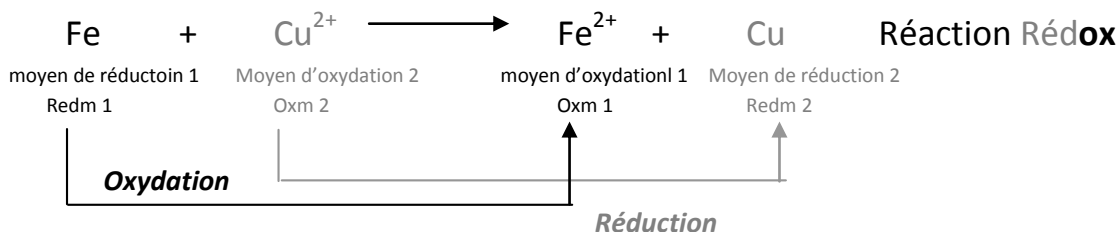
### Théorie

Dans la ligne rédox, les moyens de réductions et d'oxydation ("couples rédox") sont ordrés dans le tableau de telle manière à ce que les moyens de réductions les plus forts soient à gauche en haut et les moyens d'oxydations les plus forts à droite en bas.

Le **moyen de réduction Redm1** le plus fort d'après les conditions générales réagit avec **le moyen d'oxydation Oxm2**. La réaction rédox devrait se dérouler toute seule.



Réaction redox:



Exercice:

- Formulez avec l'aide de la ligne rédox l'équation de réaction pour la réaction rédox qui devrait se dérouler librement (hypothèse).
- Notez la réaction partielle de l'oxydation et de la réduction.
- Vérifiez l'une ou l'autre des hypothèses après discussion avec l'enseignant.

Tous les dés 1x

Na°	Mg°	Al°	Sn°	Cu°	Fe°	Ca°	Zn°	Ag°
	°	°	N <sub>2</sub> °	S°	O <sub>2</sub> °	F <sub>2</sub> °	Cl <sub>2</sub> °	Br <sub>2</sub> °
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	HNO <sub>2</sub>	HNO <sub>3</sub>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>

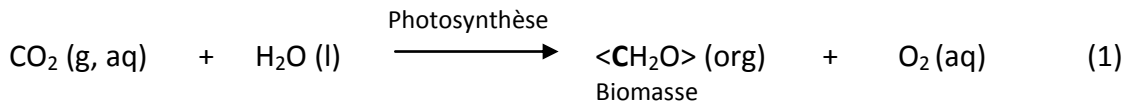
# ChemCube - Les polluants de l'air et les pluies d'acides

4	5	6	7	8	9	10	11	12	H5
---	---	---	---	---	---	----	----	----	----

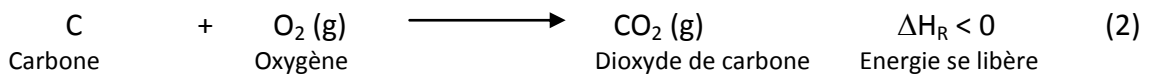
## 4.1 Carbone - dioxyde de carbone - acide carbonique - le carbonate

### Théorie

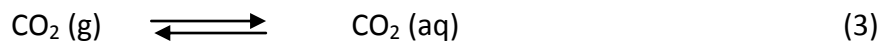
Lors de la photosynthèse des plantes ou d'algues, le dioxyde de carbone est transformé en biomasse  $\langle\text{CH}_2\text{O}\rangle$  ou rapidement en carbone organique **C(org)** (1):



Lors de la combustion ou de l'aspiration du carbone (par ex. le charbon C(s) ou du carbone organique C(org)) se crée avec de l'oxygène du dioxyde de carbone à l'état gazeux.  $p_i(\text{CO}_2(\text{g})) = 400 \text{ ppm}$



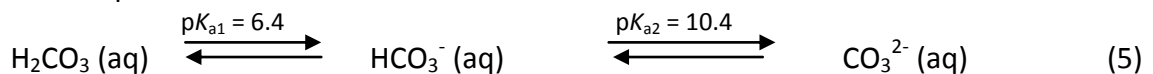
Le dioxyde de carbone gazeux  $\text{CO}_2(\text{g})$  se dissout dans l'eau (eau de pluie, fleuves, lacs, mers) et est en équilibre avec le dioxyde de carbone  $\text{CO}_2(\text{aq})$  :



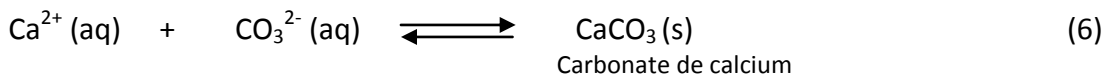
Le dioxyde de carbone dilué dans l'eau  $\text{CO}_2(\text{aq})$  réagit avec l'eau et devient de l'acide carbonique  $\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$ .



Suivant le pH, l'acide carbonique continue de réagir et de devenir de l'hydrogène de carbonate resp. du carbonate:



Beaucoup de bestioles d'eau comme le corail, les escargots et les moules mais aussi des microorganismes peuvent créer du carbonate de calcium dans leur coquille. Si ces bêtes meurent, alors leur coquille se stocke en sédiment:



Jouez ces réactions à l'aide du dé d'acide carbonique. Toutes les réactions qui sont équilibrées sont réversibles c'est-à-dire changeables.

Exercice: Liez les réactions (3) - (6) ensemble.

Questions:

- Que signifie ce résultat pour l'effet de serre ?
- La solubilité du dioxyde de carbone diminue lorsque la température augmente. Qu'est-ce que cela signifie pour la concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère?

10x							2x	
$\text{H}_2\text{CO}_3$	$\text{H}_2\text{SO}_3$	$\text{H}_2\text{SO}_4$	$\text{H}_2\text{S}$	$\text{NH}_4^+$	$\text{HNO}_2$	$\text{HNO}_3$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{H}_3\text{O}^+$

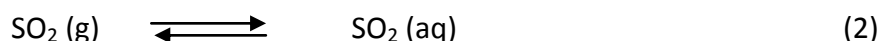
# ChemCube - Les polluants de l'air et les pluies d'acides



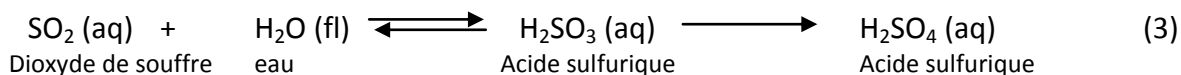
## 4.2 Soufre - dioxyde de soufre - acide sulfurique - plâtre

### Théorie

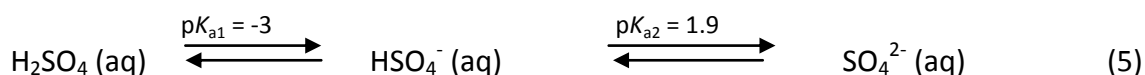
Lors de la combustion du soufre **S** ou des liaisons organiques sulfuriques **S(org)**, le soufre et l'oxygène réagissent ensemble et se transforment en **dioxyde de soufre gazeux**.



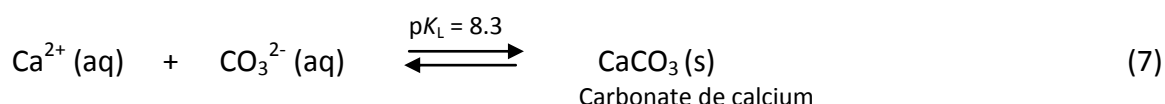
Si le dioxyde de soufre réagit avec l'eau, alors se forme de l'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_3 \text{ (aq)}$ ). Celui-ci peut par exemple continuer de réagir jusqu'à ce qu'en advienne de l'acide sulfurique encore plus fort ( $\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ (aq)}$ ). Les deux sont des éléments de la pluie d'acide:



Suivant le pH, ces deux acides sont représentés en espèce tel que:



Lors de l'évaporation de l'eau de mer contenant du calcium, le plâtre et l'anhydrite (6) qui étaient un peu plus tôt du carbonate de dissolution (7) se dissolvent:



Jouez ces réactions à l'aide du bon dé. Toute réaction notée comme équation est réversible, c'est-à-dire interchangeable.

Exercices: Liez les réactions (3) - (6) ensemble.

Frage: Quel rôle jouent les équations lors de la création des minéraux?  
Quelle influence a la valeur du pH de l'eau sur ce processus?

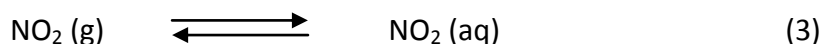
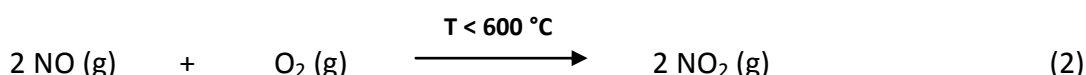
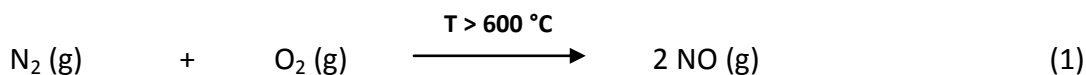
1x	5x	5x					5x	
$\text{H}_2\text{CO}_3$	$\text{H}_2\text{SO}_3$	$\text{H}_2\text{SO}_4$	$\text{H}_2\text{S}$	$\text{NH}_4^+$	$\text{HNO}_2$	$\text{HNO}_3$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{H}_3\text{O}^+$



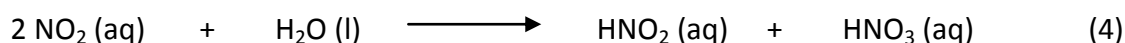
## 4.3 Nitrogène - oxyde d'azote - acide nitreux - acide nitrique

### Théorie

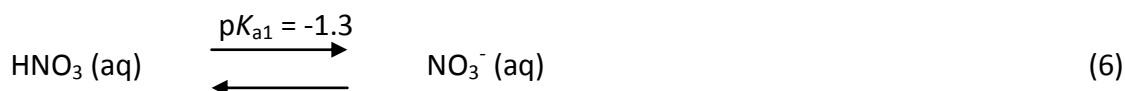
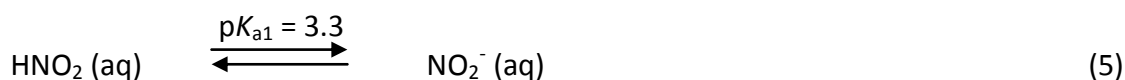
Lors de beaucoup de réactions de combustion règnent de hautes températures. Lors de températures supérieures à 600°C le polluant de l'air  $\text{N}_2$  peut réagir avec de l'oxygène et donner de l'oxyde d'azote  $\text{NO}_x$ . Alors se crée du monoxyde d'azote  $\text{NO}$  et du dioxyde d'azote  $\text{NO}_2$ .



Le dioxyde d'azote réagit avec l'eau et donne de l'acide nitreux **et** de l'acide nitrique:



Suivant le pH ceux-ci continuent de réagir jusqu'à donner du nitrite (5), resp. nitrate (6) :



Jouez cette réaction avec le dé correspondant. Toutes les réactions notées comme une équation sont réversibles, c'est-à-dire interchangeables.

$\text{H}_2\text{CO}_3$	$\text{H}_2\text{SO}_3$	$\text{H}_2\text{SO}_4$	$\text{H}_2\text{S}$	$\text{NH}_4^+$	$\text{HNO}_2$	$\text{HNO}_3$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{H}_3\text{O}^+$
-------------------------	-------------------------	-------------------------	----------------------	-----------------	----------------	----------------	------------------	------------------------

# ChemCube - L'azote dans l'environnement

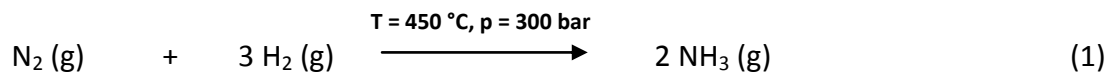


## 4.4 Synthèse d'ammoniaque, nitrification et dénitrification

### Fixation d'azote

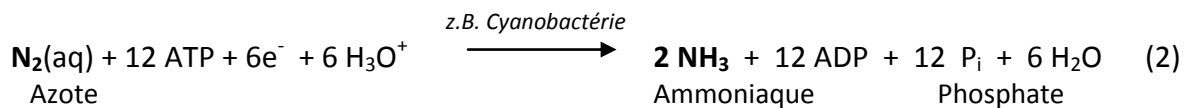
#### a) Processus d'Haber-Bosh

L'azote de l'air  $\text{N}_2$  est industriellement synthétisée avec l'hydrogène  $\text{H}_2$  et donne de l'ammoniaque  $\text{NH}_3$  durant le processus de Haber-Bosh (1).



#### b) Fixation d'azote biologique

Certaines cyanobactéries et bactéries rhizobium qui vivent en symbiose avec certaines plantes (racines) sont capables de fixer de l'azote d'air (2).

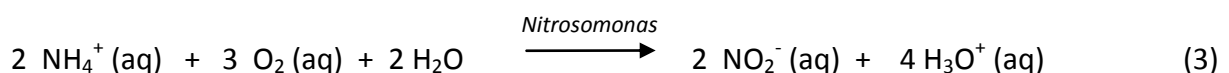


### Nitrification

La nitrification de l'ammonium au nitrate qui peut être créée par différentes bactéries se passe en deux temps: 1. l'oxydateur d'ammonium (Nitrosomonas) et 2. l'oxydateur de nitrite (Nitrobacter). Les deux sont des bactéries autotrophes.

#### 1. L'oxydateur d'ammonium (par ex. la bactérie Nitrosomonas)

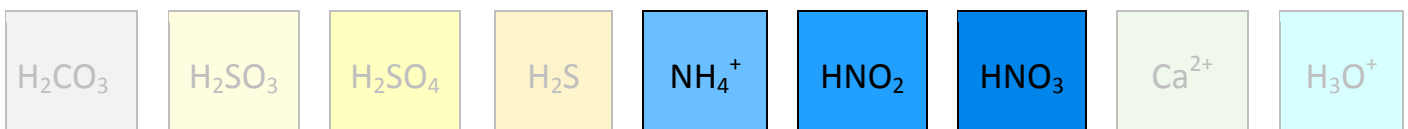
Les bactéries *nitrosomonas* se chargent de l'oxydation de l'ammonium au nitrite:



Notez la réaction partielle de l'oxydation et de la réduction:

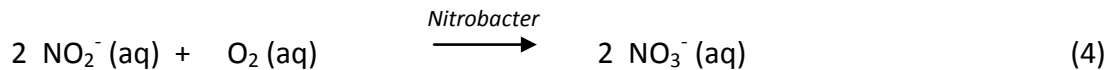
Oxydation:

Réduction:



## 2. L'oxydateur de nitrite (par ex. bactéries nitrobacter)

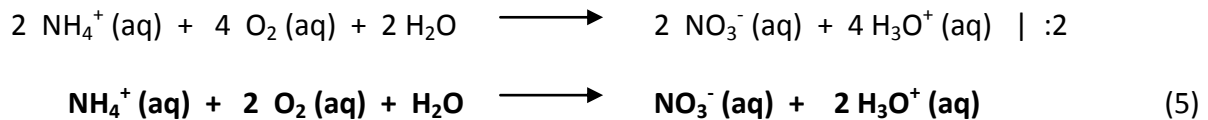
Les bactéries *nitrobacter* se chargent de l'oxydation du nitrite au nitrate:



Oxydation:

Réduction:

Le bilan complet de la nitrification s'écrit:

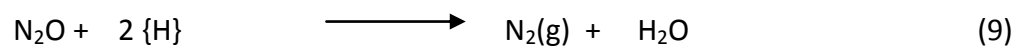
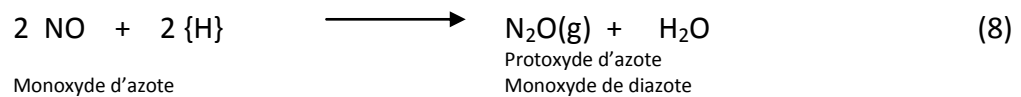
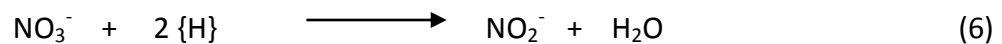


Lors de la nitrification, l'ammonium sera changé en nitrate pour l'utilisation de l'oxygène. De ce fait, la valeur du pH diminue. La nitrification fonctionne uniquement aux valeurs pH > de 7.2 à 8. Si la valeur du pH diminue, alors la nitrification s'enclenche. Dans le lac, le carbonate dissous (carbonate d'hydrogène) aide à l'amortissement des ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  devenant libres.

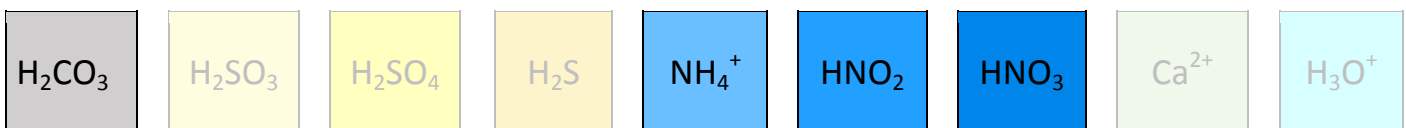
Exercice: Question: Notez ces équations de réactions:

## Dénitrification

A la différence de la nitrification, la dénitrification est un processus anaérobie, ça veut dire qu'elle se déroule sans la participation de l'oxygène. Le nitrate sera alors, en plusieurs étapes, réduit en azote élémentaires. Dans ce qui suit, nous voulons observer plus exactement chaque étape de réaction. Les **{H}** signifient les donateurs H qui peuvent donner des **atomes H** (par ex. NADH):



Jouez les processus avec les dés. Réfléchissez, quelle influence a la valeur du pH ?



## Echelle de pH

Réponse est...	...très acide		...acide				... neutre			basique		...très basique			
<b>Valeur pH</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>
<b>Valeur pOH</b>	<b>14</b>	<b>13</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
$c(\text{H}_3\text{O}^+) \text{ mol/L}$	$1=10^0$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$	$10^{-10}$	$10^{-11}$	$10^{-12}$	$10^{-13}$	$10^{-14}$
$c(\text{OH}^-) \text{ mol/L}$	$10^{-14}$	$10^{-13}$	$10^{-12}$	$10^{-11}$	$10^{-10}$	$10^{-9}$	$10^{-8}$	$10^{-7}$	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	$1=10^0$

Echelle de pH	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>
pH est...															

