



Les candidats doivent remplir cette page puis remettre cette chemise accompagnée de la version finale de leur mémoire à leur superviseur.

Numéro de session du candidat

Nom du candidat

Code de l'établissement

Nom de l'établissement

Sessions d'examens (mai ou novembre)

mai

Année

2013

Matière du Programme du diplôme dans laquelle ce mémoire est inscrit : Chimie

(Dans le cas d'un mémoire de langue, précisez la langue et s'il s'agit du groupe 1 ou 2.)

Titre du mémoire : Effet des pluies acides sur les matériaux métalliques de construction

Déclaration du candidat

Cette déclaration doit être signée par le candidat, sans quoi aucune note finale ne pourra être attribuée.

Le mémoire ci-joint est le fruit de mon travail personnel (mis à part les conseils permis par le Baccalauréat International que j'ai pu recevoir).

J'ai signalé tous les emprunts d'idées, d'éléments graphiques ou de paroles, qu'ils aient été communiqués originellement par écrit, visuellement ou oralement.

Je suis conscient que la longueur maximale fixée pour les mémoires est de 4 000 mots et que les examinateurs ne sont pas tenus de lire au-delà de cette limite.

Ceci est la version finale de mon mémoire.

Signature du candidat :

Date :

Rapport et déclaration du superviseur.

Le superviseur doit remplir ce rapport, signer la déclaration et remettre au coordonnateur du Programme du diplôme la version définitive du mémoire dans la présente chemise.

Nom du superviseur [en CAPITALES]

Le cas échéant, veuillez décrire le travail du candidat, le contexte dans lequel il a entrepris sa recherche, les difficultés rencontrées et sa façon de les surmonter (voir les pages 13 et 14 du guide Le mémoire). L'entretien de conclusion (ou soutenance) pourra s'avérer utile pour cette tâche. Les remarques du superviseur peuvent aider l'examineur à attribuer un niveau pour le critère K (évaluation globale). Ne faites aucun commentaire sur les circonstances personnelles défavorables qui auraient pu affecter le candidat. Si le temps passé avec le candidat est égal à zéro, vous devrez l'expliquer et indiquer comment il vous a été possible de vérifier que le mémoire était bien le fruit du travail du candidat en question. Vous pouvez joindre une feuille supplémentaire si l'espace fourni ci-après est insuffisant.

Cette déclaration doit être signée par le superviseur, sans quoi aucune note finale ne pourra être attribuée.

J'ai lu la version finale du mémoire qui sera envoyée à l'examineur.

À ma connaissance, le mémoire constitue le travail authentique du candidat.

J'ai consacré

3

 heures d'encadrement au candidat pour ce mémoire.

Signature du superviseur

Date :

Formulaire d'évaluation (réservé à l'examinateur)

Critères d'évaluation	Niveau					
	L'examinateur 1	Max.	L'examinateur 2	Max.	L'examinateur 3	
A Question de recherche	1	2		2		
B Introduction	1	2		2		
C Recherche	2	4		4		
D Connaissance et compréhension du sujet étudié	1	4		4		
E Raisonnement	2	4		4		
F Utilisation des compétences d'analyse et d'évaluation adaptées à la matière	2	4		4		
G Utilisation d'un langage adapté à la matière	2	4		4		
H Conclusion	2	2		2		
I Présentation formelle	3	4		4		
J Résumé	2	2		2		
K Évaluation globale	2	4		4		
Total sur 36	20					

MÉMOIRE BI
EFFET DES PLUIES ACIDES SUR LES MATÉRIAUX MÉTALLIQUES DE
CONSTRUCTION

Département de chimie
25 janvier 2013

RÉSUMÉ

Les pluies acides sont sujet de nombreuses recherches de nos jours à cause de ses conséquences néfastes sur l'humain et l'environnement. Les études montrent que les acides forts, tel que le H_2SO_4 produit par la pollution, font en sorte que les pluies ont un pH d'environ 4, au lieu d'un pH d'environ 5. Plusieurs équipes de laboratoire sont à la recherche du matériau complètement résistant à l'acidité de ces pluies.

Donc, le mémoire ci-joint a pour but de répondre à la question de recherche suivante : quel matériau métallique, déjà existant, résiste le mieux aux dégradations dues aux pluies acides?

Pour répondre à cette question, il faut tremper le cuivre, le zinc, le laiton, deux types d'acier inoxydable et le fer dans 6 solutions de H_2SO_4 de même concentration et quantité. Leurs pH sont enregistrés toutes les quinze minutes. Après 16 heures d'attente, toutes les valeurs de pH des 6 solutions de H_2SO_4 contenant les différents matériaux ont été recueillies afin de tirer une conclusion. Avec la quantité de H_2SO_4 initiale et finale qu'il est possible de calculer, une conclusion sur la précision des manipulations peut être tirée. Le calcul de la masse perdue des matériaux servira pour le même but.

En conclusion, dans les matériaux étudiés, malgré les erreurs de manipulations, les incertitudes et inexactitudes, les aciers inoxydables sont les plus résistants face à l'oxydation des acides forts (H_2SO_4) dans les pluies acides, car le pH, de la solution de H_2SO_4 qui a réagi avec ce matériau à la fin des 16 heures, est le plus bas. Ensuite, pour les matériaux qui restent, l'ordre est : cuivre, fer, laiton, et zinc. Cet ordre est semblable à l'ordre théorique, qui peut être déterminé par leur masse volumique. Plus cette dernière est élevée, plus ce matériau résistera aux pluies acides.

299 mots

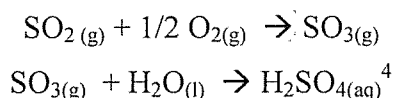
TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	I
TABLE DES MATIÈRES	II
INTRODUCTION.....	I
QUESTION DE RECHERCHE.....	2
HYPOTHÈSE	3
DÉFINITION DES VARIABLES :	3
LISTE DES MATÉRIELS:	4
LISTE DES RÉACTIFS :	5
CALCULE PRÉALABLE : CONCENTRATION DE H_2SO_4 ET DE $NaOH$	5
PROTOCOLE:.....	5
RECUEILLEMENT ET TRAITEMENT DES DONNÉES.....	8
TABLEAUX DES DONNÉES BRUTES :.....	8
<i>Tableau 1 : masse initiale et finale des matériaux</i>	8
<i>Tableau 2 : dilution de H_2SO_4 et de $NaOH$</i>	8
<i>Tableau 3 : le pH des 6 solutions de H_2SO_4 des 6 métaux sur 16 heures (voir ANNEXE I)</i>	8
<i>Tableau 4 : dosage potentiométrique des 6 solutions de H_2SO_4 après le trempage des 6 matériaux</i>	11
TABLEAU DES DONNÉES TRAITÉES :	15
<i>Tableau 5 : la masse perdu des 6 matériaux métalliques</i>	22
<i>Tableau 6 : les pH de virage, les volumes équivalents, le nombre de H_2SO_4 initiale dans chaque béccher avant 16 h de trempage, le nombre de mol de $NaOH$ utilisé pour le dosage, le nombre de mol de H_2SO_4 dosé et le nombre de H_2SO_4 réagit pendant les 16 h de trempage des 6 solutions de H_2SO_4</i>	22
DISCUSSION:	23
ÉVALUATION DE PROCÉDURE ET AMÉLIORATIONS POSSIBLES :	26
CONCLUSION.....	28
ANNEXE.....	30
ANNEXE I	31
ANNEXE II	32
ANNEXE III	33
TITRE : EXEMPLE DE CALCULS DE PH DE VIRAGE ET VOLUME ÉQUIVALENT POUR LE CUIVRE	33
1. <i>Tangentes des plateaux en phases acide et basique</i>	33
2. <i>Droites perpendiculaires aux tangentes des plateaux</i>	33
3. <i>Les demi-hauteurs (le 1^{er})</i>	34
4. <i>Le point équivalent</i>	35
ANNEXE IV	36
ANNEXE V	37
ANNEXE VI	38
ANNEXE VII	39
BIBLIOGRAPHIE	40
REMERCIEMENT	42

INTRODUCTION

Les pluies acides ont été un des problèmes majeurs au 20^e siècle à cause de leurs nombreuses conséquences sur l'environnement et l'humain. Ses capacités à dégrader les matériaux de construction cause de nombreux problèmes à l'égard de la société. Par exemple, les rails des chemins de fer, qui sont habituellement construits avec des métaux, peuvent être dégradés et on peut observer la corrosion sur les surfaces métalliques¹. Aussi, au niveau de bâtiments, on peut observer l'érosion, par exemple, des pierres calcaires et de marbre des maisons².

Une précipitation a pour but de laver les polluants de l'atmosphère afin de rendre l'air frais. Habituellement, le pH d'une pluie propre varie entre 5 et 5,6. Elle est quand même acide dû à la présence de dioxyde de carbone (CO₂) qui réagit avec le l'eau (H₂O) qui produit un acide faible le H₂CO₃.³ Le pH d'une pluie acide varie entre 4 et 4,5, soit beaucoup moins basique qu'une pluie normale. En effet, les molécules d'H₂O des pluies réagissent avec certaines substances de l'atmosphère et produisent ainsi des acides, entre autres le H₂SO₄, qui est un acide fort. Le H₂SO₄ est produit par des réactions du gaz SO₂ dans l'atmosphère :



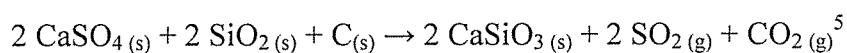
Ce processus est normal, mais l'industrialisation des dernières décennies fait en sorte qu'il y a plus de pollution, et ainsi un surplus de SO₂ atmosphérique. Par exemple, lors de la fabrication des ciments, on brûle des composés contenant du soufre et on produit du SO₂ :

¹ SCIENCE ACROSS EUROPE, pluies acides sur l'europe, [En ligne], 1999, [<http://www.nationalstemcentre.org.uk/dl/8030005e00645b4f98ab2f3e85dc7092b60ece84/5577-AR%20Complete%20Topic%20French.pdf>], (consulté le 6 novembre 2012).

² PLUIES ACIDES, conséquences des pluies acides, [En ligne], 2008, [<http://pluies-acides.webnode.fr/consequences-des-pluies-acides/>], (consulté le 6 novembre 2012).

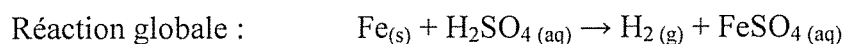
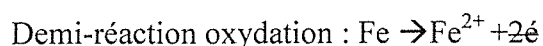
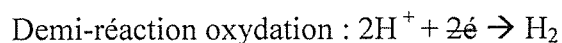
³ ENCycLOPÉDIE CANADIENNE, Pluies acides, [En ligne], 2012, [<http://www.thecanadianencyclopedia.com/articles/fr/pluies-acides/>], (consulté le 6 novembre 2012).

⁴ ENCycLOPÉDIE CANADIENNE, Pluies acides, [En ligne], 2012, [<http://www.thecanadianencyclopedia.com/articles/fr/pluies-acides/>], (consulté le 6 novembre 2012).



Donc, en conséquence, les molécules de SO_2 s'accumulent de plus en plus dans l'atmosphère et les pluies sont ainsi plus acides.

Lorsque ces acides entrent en contact avec les métaux (ou les métaux de transition) des bâtiments, elles réagissent avec ces derniers et ainsi, une réaction d'oxydoréduction se produit (ex: $\text{Fe}(s) + \text{H}_2\text{SO}_4(aq) \rightarrow \text{H}_2(g) + \text{FeSO}_4(aq)$)⁶.



Les métaux ont une capacité de céder des électrons pour se lier avec l'ion SO_4^{2-} du H_2SO_4 . Ceci est une réaction de remplacement simple. Une réaction comme celle-ci dégrade les matériaux et ceux-ci deviendront plus vulnérables, par exemple, face aux catastrophes nature telles que le tremblement de terre. De nos jours, les dommages causés par les pluies acides sont de plus en plus nombreux et des monuments historiques en sont aussi les victimes⁷.

Question de recherche

Donc dans cette expérience, l'étude du métal le plus résistant aux pluies acides sera faite. La **question de recherche** est : quel matériau métallique résiste le mieux aux dégradations dues aux pluies acides?

⁵ INDUSTRIEL CHEMISTRY, section 12, [En ligne], [http://www.jghs.edin.sch.uk/Departments/MathScience/chemistrynotes/highernotes/chemistryhighernotes/industrial_chemistry12.pdf], (consulté le 6 novembre 2012).

⁶ WEB QC.ORG, chemical portal, [En ligne], 2013, [http://www.webqc.org/balance.php?reaction=Fe(s)%2BH2SO4(aq)%3DFeSO4(aq)%2BH2(g)], (consulté le 6 janvier 2013).

⁷ LES PLUIES ACIDES, Comment l'homme peut-il lutter contre les pluies acides ?, [En ligne], 2010, [http://tpepluiesacides.e-monsite.com/pages/tpe/y-remedier.html], (consulté le 6 janvier 2013).

Ainsi, les futures constructions peuvent se faire en évitant une dégradation trop rapide par ces pluies acides, ce qui est le but.

Hypothèse

Il est plus probable que les métaux ayant un petit pouvoir réducteur seront plus résistants aux pluies acides, puisque pour qu'un matériau reste intact lors d'un contact avec les pluies acides, il faut qu'il se produise le moins possible de réactions d'oxydoréduction. En ayant un petit pouvoir réducteur, l'oxydation du métal sera réduite.

Dans le cas où le pouvoir réducteur est semblable entre des matériaux, il faut alors regarder l'équation du taux de corrosion suivante :

$$R = \frac{KW}{\rho At} \text{ }^8$$

Où :

- R est le taux de corrosion
- K est une constante
- W est la vitesse perte de poids en fonction du temps
- t est le temps
- ρ est la masse volumique
- A est l'aire de surface de contact

Dans cette équation, l'aire du métal (A) et le temps (t) sont contrôlés, le K est une constante, donc la masse volumique (ρ) est le seul facteur qui influence le plus le taux de corrosion. D'après la règle, plus la masse volumique est élevée, plus le taux de corrosion est petit. Plus ce taux est petit, plus le matériau se dégrade moins rapidement. Donc, il faut une grande masse volumique (voir ANNEXE I).

Définition des variables :

La variable indépendante sera alors le type de métaux. La variable dépendante sera le nombre de moles d'acide qui ont réagi. Les variables à contrôler seront alors la

⁸ CORROSION DOCTORS, Corrosion rate conversion, [En ligne], [<http://www.corrosion-doctors.org/Principles/Conversion.htm>], (consulté le 19 novembre 2012).

forme et la grosseur des métaux (pour limiter la surface de contact et la quantité de métaux). Aussi, il faut que tous les métaux soient dans la même pièce afin de contrôler la température et la pression. De plus, les solutions de H_2SO_4 dans lesquelles les matériaux sont trempés doivent avoir la même concentration. Finalement, la quantité d'acide mise dans chaque bécher contenant les matériaux doivent être la même.

Pour réaliser cette expérience, il faudra faire une solution de H_2SO_4 d'une concentration précise afin que son pH soit d'environ 4.0. Ensuite, il faudra tremper les métaux d'environ d'une même grosseur dans cette solution de H_2SO_4 durant un temps fixe et de mesurer le pH à chaque 15 minutes. Finalement, il faut simplement doser la solution de H_2SO_4 pour en connaître l'exactitude et la précision des résultats. Ainsi, la solution de H_2SO_4 qui aura le pH le moins élevé et la plus grande quantité résiduelle d'acide à la fin de la période de réaction sera celle contenant le matériau le plus résistant aux pluies acides, puisqu'il s'agira du métal qui aura réagi le moins. Ensuite, il faudra faire un dosage potentiométrique pour chacun des 6 solutions de H_2SO_4 afin de connaître les pH de virage et les volumes équivalents, dans le but de valider la tendance des 6 variations de pH observée. Plus le pH a augmenté pendant les 16 heures, plus il y a de molécules de H_2SO_4 qui ont réagi, donc il devrait rester moins de molécules d'acide dans le bécher. Alors, le volume équivalent lors du dosage potentiométrique doit être plus petit. Aussi, dans le même but de valider les résultats, il sera bien de calculer la quantité de H_2SO_4 qui a réagi dans chaque bécher et la perte de masse de chaque matériau.

Liste des matériels:

- 2 ballons jaugés de 1000mL
- 10 béchers de 100 mL
- 6 béchers de 150 mL
- 1 erlenmeyer
- 1 burette de 50 mL
- 1 tige de verre
- 1 pipette de 10 mL

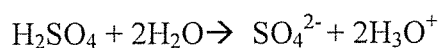
- 7 contenants en plastique
- Support universel et son pince
- 1 micropipette
- 6 électrodes de pH branchés à une interface
- 1 plaque chauffante
- Logiciel Logger Pro

Liste des réactifs :

- 200 mL solution de H₂SO₄ 3M
- 300 mL solution de NaOH 0,104 M
- Morceaux de Mg(s) environ 100 g
- Morceaux de Zn(s) environ 100 g
- Morceaux de Fe(s) environ 100 g
- Morceaux de Cu(s) environ 100 g
- Morceaux de laiton environ 100 g
- Morceaux d'acier inoxydable II (grands morceaux) environ 100 g
- Morceaux d'acier inoxydable I (petits morceaux) environ 100 g
- Solution de phénolphtaléine
- Solution tampon de pH 4
- Solution tampon de pH 6

Calcul préalable : concentration de H₂SO₄ et de NaOH

$$\text{pH H}_2\text{SO}_4 = 4$$



$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 0,0001$$

$$[\text{H}_2\text{SO}_4] = [\text{H}_3\text{O}^+] / 2 = 0,00005\text{M}$$

Protocole:

I. pH de H₂SO₄ et calibration des électrodes:

1. Recueillir dans un bécher de 100mL propre et sec 50mL d'une solution de H_2SO_4 à 3 M.
2. À l'aide d'une micropipette, prélever 0,0167 mL de H_2SO_4 . Vider cette quantité de solution dans un ballon jaugé de 1000mL propre.
3. Compléter le ballon jaugé avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. Agiter bien afin de bien mélanger la solution.
4. Verser environ 50 mL de la solution dans 1 bécher propre et sec de 100 mL.
5. Verser environ 80 mL de la solution tampon de pH 4 dans un bécher propre et sec de 100 mL.
6. Verser environ 80 mL de la solution tampon de pH 6 dans un bécher propre et sec de 100 mL.
7. Tremper l'électrode branchée sur l'ordinateur dans la solution de pH 4. Ajuster au logiciel de Loger Pro le pH à 4.
8. Tremper l'électrode branchée sur l'ordinateur dans la solution de pH 6. Ajuster au logiciel de Loger Pro le pH à 6.
9. Mesurer le pH de la solution de H_2SO_4 et noter le dans le tableau des données brutes 1.

II. Test des matériaux :

1. Brancher 6 électrodes sur un ordinateur.
2. Tremper 1 électrode branchée sur l'ordinateur dans la solution de pH 4. Ajuster au logiciel de Loger Pro le pH à 4.
3. Tremper 1 électrode branchée sur l'ordinateur dans la solution de pH 6. Ajuster au logiciel de Loger Pro le pH à 6.
4. Répéter l'expérience 5 fois pour les 5 autres électrodes.
5. À l'aide de la balance, peser la masse initiale des matériaux et noter dans le tableau des données brutes 2.
6. Placer les 6 morceaux de matériaux dans 6 béchers propres et secs de 250mL.
7. Mettre les électrodes dans les béchers et noter le nom de la substance testée sur Loger Pro. Numéroter les béchers de 1-6

8. Verser environ 200mL d' H_2SO_4 dans chaque bécher.
9. Noter le temps en tant que T_0 et départ du graphique des 6 pH des solutions de H_2SO_4 en fonction du temps.

III. dosage du H_2SO_4 résiduel:

1. Laisser reposer les béchers pendant 16 heures et arrêter le graphique des 6 pH des solutions de H_2SO_4 en fonction du temps.
2. Retirer les matériaux métalliques des béchers.
3. Verser environ 50 mL la solution dans le bécher numéro 1 dans un bécher propre et sec de 100 mL.
4. Mettre le bécher numéro 1 contenant l'électrode sur une plaque chauffante magnétique.
5. Recueillir dans un bécher de 100 mL propre et sec environ 10 mL d'une solution de NaOH à 0,104 M.
6. À l'aide d'un pycnomètre, prélever 0,4817 mL de NaOH. Vider cette quantité de solution dans un ballon jaugé de 1000mL propre.
7. Compléter le ballon jaugé avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. Agiter bien afin de bien mélanger la solution.
8. Verser environ 80 mL de la solution dans 1 bécher propre et sec de 100 mL.
9. À l'aide d'un support universel et d'une pince universelle, fixer une burette propre et sèche. Remplir la burette avec la solution de NaOH diluée.
10. Ajuster la hauteur de la burette afin que la solution de NaOH tombe directement dans le bécher numéro 1.
11. Commencer le dosage avec le logiciel de Loger Pro et ajouter chaque fois environ 0,5 mL de NaOH.
12. Terminer le dosage une fois qu'un plateau sur la courbe est visible. Transférer les résultats dans le tableau des données brutes 3.
13. Refaire l'étape III avec les 5 autres béchers.

RECUEILLEMENT ET TRAITEMENT DES DONNÉES

Tableaux des données brutes :

Tableau 1 : masse initiale et finale des matériaux

	cuivre	laiton	zinc	acier inox. I	acier inox. II	fer	observation
	g	g	g	g	g	g	
	±0,001	±0,001	±0,001	±0,001	±0,001	±0,001	
masse initiale	43,652	29,806	46,578	50,612	14,778	46,002	Les pesées ont été faites avec précision
masse finale	42,735	28,946	45,356	50,501	14,765	44,972	

Tableau 2 : dilution de H₂SO₄ et de NaOH

Concentration H ₂ SO ₄ initial	Volume H ₂ SO ₄ initial	Volume H ₂ SO ₄ dilué	Concentration NaOH initiale	Volume NaOH initial	Volume NaOH dilué	Observation
Mol	mL	mL	Mol	mL	mL	
±0,1	±0,0001	±0,75	±0,001	±0,0001	±0,75	
3,0	0,0167	1000,00	0,104	0,4817	1000,00	Résultats précis

Tableau 3 : le pH des 6 solutions de H₂SO₄ des 6 métaux sur 16 heures (voir ANNEXE I)

Le temps écoulé	pH de cuivre	pH de laiton	pH de zinc	pH d'acier inoxydable I (petit)	pH d'acier inoxydable II (gros)	pH de fer
Heure						
0.00	4.74	5.24	4.87	4.21	4.12	4.50
0.25	5.07	4.94	4.69	4.14	3.86	4.37
0.50	5.18	4.91	5.14	4.09	3.86	4.27
0.75	5.30	5.19	5.47	3.99	3.90	4.48
1.00	5.39	5.24	5.76	3.99	3.94	4.87
1.25	5.46	5.38	5.82	4.08	3.97	5.21
1.50	5.53	5.42	5.99	4.06	4.04	5.37
1.75	5.60	5.48	6.13	4.10	4.06	5.67
2.00	5.66	5.54	6.14	4.16	4.08	5.65

2.25	5.69	5.58	6.23	4.25	4.06	5.85
2.50	5.71	5.67	6.36	4.30	4.11	5.76
2.75	5.75	5.67	6.32	4.33	4.10	5.75
3.00	5.78	5.68	6.39	4.40	4.07	5.77
3.25	5.84	5.68	6.39	4.39	4.09	5.87
3.50	5.84	5.73	6.44	4.47	4.08	5.82
3.75	5.87	5.75	6.55	4.42	4.04	5.85
4.00	5.95	5.76	6.49	4.46	4.10	5.79
4.25	5.89	5.80	6.55	4.48	4.08	5.79
4.50	5.96	5.81	6.61	4.43	4.04	5.91
4.75	5.96	5.85	6.62	4.51	4.11	5.93
5.00	6.00	5.88	6.65	4.48	4.12	5.90
5.25	5.99	5.90	6.67	4.53	4.09	5.88
5.50	6.03	5.94	6.75	4.50	4.11	5.94
5.75	6.01	5.92	6.78	4.52	4.11	5.86
6.00	6.01	5.95	6.83	4.56	4.10	5.97
6.25	6.03	5.94	6.90	4.54	4.08	5.97
6.50	6.09	5.98	6.84	4.50	4.11	6.04
6.75	6.05	6.00	6.90	4.61	4.10	5.95
7.00	6.09	6.02	6.95	4.50	4.08	6.03
7.25	6.12	6.04	6.94	4.54	4.13	5.93
7.50	6.12	6.04	6.94	4.57	4.12	5.98
7.75	6.09	6.04	7.00	4.52	4.12	5.95
8.00	6.10	6.07	7.02	4.50	4.12	5.99
8.25	6.10	6.04	6.92	4.52	4.11	5.91
8.50	6.09	6.04	6.99	4.54	4.08	5.83
8.75	6.09	6.11	7.03	4.57	4.08	5.88
9.00	6.16	6.11	7.00	4.55	4.07	5.97
9.25	6.08	6.09	7.14	4.48	4.11	5.67
9.50	6.11	6.13	7.13	4.51	4.11	5.85
9.75	6.10	6.13	7.13	4.60	4.08	5.79
10.00	6.10	6.14	7.09	4.56	4.11	5.95
10.25	6.12	6.15	7.15	4.49	4.09	5.93
10.50	6.09	6.14	7.23	4.48	4.11	6.02
10.75	6.09	6.21	7.17	4.55	4.11	5.85
11.00	6.11	6.17	7.24	4.56	4.12	5.89
11.25	6.10	6.22	7.23	4.56	4.12	6.13
11.50	6.12	6.26	7.27	4.55	4.17	6.04

11.75	6.13	6.23	7.28	4.61	4.10	6.09
12.00	6.14	6.24	7.35	4.58	4.14	6.17
12.25	6.13	6.25	7.39	4.60	4.15	6.14
12.50	6.12	6.26	7.37	4.58	4.12	6.17
12.75	6.10	6.25	7.38	4.59	4.14	6.14
13.00	6.07	6.29	7.41	4.55	4.14	6.13
13.25	6.12	6.28	7.39	4.52	4.14	6.14
13.50	6.08	6.28	7.39	4.57	4.09	6.23
13.75	6.08	6.33	7.41	4.55	4.19	6.28
14.00	6.08	6.35	7.59	4.56	4.15	6.23
14.25	6.09	6.34	7.57	4.61	4.16	6.19
14.50	6.10	6.34	7.53	4.59	4.16	6.18
14.75	6.08	6.33	7.58	4.54	4.17	6.20
15.00	6.08	6.33	7.50	4.57	4.15	6.17
15.25	6.04	6.37	7.53	4.54	4.14	6.18
15.50	6.07	6.34	7.47	4.59	4.19	6.25
15.75	6.08	6.35	7.54	4.55	4.15	6.14
16.00	6.06	6.34	7.53	4.55	4.13	6.18
16.25	6.08	6.34	7.55	4.56	4.15	6.21

Observation : les pH finaux ont du sens

Tableau 4 : dosage potentiométrique des 6 solutions de H₂SO₄ après le trempage des 6 matériaux

Volume de NaOH	pH de la solution de H ₂ SO ₄ après le trempage de cuivre	Volume de NaOH	pH de la solution de H ₂ SO ₄ après le trempage de laiton	Volume de NaOH	pH de la solution de H ₂ SO ₄ après le trempage de zinc	Volume de NaOH	pH de la solution de H ₂ SO ₄ après le trempage de l'acier inoxydable I (petit)	Volume de NaOH	pH de la solution de H ₂ SO ₄ après le trempage de l'acier inoxydable II	Volume de NaOH	pH de la solution de H ₂ SO ₄ après le trempage du fer
mL		mL		mL		mL		mL		mL	
±0,05		±0,05		±0,05		±0,05		±0,05		±0,05	
0.00	4.43	0.00	4.92	0.00	4.49	0.00	4.34	0.00	4.06	0.00	2.00
0.50	4.50	0.60	5.02	0.60	4.61	3.00	4.49	0.50	4.20	1.00	2.00
1.00	4.59	1.00	5.06	1.00	4.69	6.00	4.56	1.00	4.41	2.00	2.00
2.00	4.64	1.00	5.10	1.00	4.72	9.00	4.68	3.00	4.58	2.50	2.00
3.00	4.73	1.50	5.14	1.50	4.78	11.00	4.77	5.00	4.72	3.00	2.00
3.50	4.77	2.00	5.19	2.00	4.81	13.00	4.80	7.00	4.90	4.00	2.00
4.00	4.89	2.50	5.21	2.50	4.87	15.00	4.84	9.00	4.98	4.50	2.00
5.00	4.92	3.00	5.24	3.00	4.94	16.00	4.91	11.00	5.07	5.50	2.00
6.00	5.01	3.50	5.28	3.50	4.97	18.00	4.98	13.00	5.13	6.50	2.00
7.00	5.05	4.00	5.33	4.00	5.06	20.00	5.12	15.00	5.16	7.50	2.00
8.00	5.09	4.60	5.37	4.60	5.09	20.50	5.18	17.00	5.20	8.50	2.00
9.00	5.12	5.00	5.45	5.00	5.12	21.00	5.22	19.00	5.26	9.50	2.00
10.00	5.20	5.50	5.47	5.50	5.18	21.50	5.31	20.00	5.33	10.50	2.00
11.00	5.19	6.00	5.50	6.00	5.18	22.00	5.39	22.00	5.36	11.50	2.00
12.00	5.24	6.50	5.53	6.50	5.21	22.50	5.55	22.50	5.39	12.50	2.00
13.00	5.30	7.00	5.58	7.00	5.23	23.00	5.91	23.00	5.41	13.50	2.00

14.00	5.31	7.50	5.60	7.50	5.24	23.50	6.29	24.00	5.42	14.50	2.00
15.00	5.34	8.00	5.69	8.00	5.26	24.00	6.91	25.00	5.45	15.50	2.00
16.00	5.38	8.50	5.65	8.50	5.27	24.50	7.42	26.00	5.48	16.50	7.34
17.00	5.42	9.00	5.70	9.00	5.29	25.00	7.76	27.00	5.50	17.50	7.37
18.00	5.46	9.50	5.69	9.50	5.31	25.50	7.94	27.50	5.53	18.50	7.40
19.00	5.46	10.00	5.76	10.00	5.34	26.00	8.06	28.00	5.56	19.50	7.43
20.00	5.49	10.50	5.74	10.50	5.36	28.00	8.24	30.00	5.61	20.50	7.45
21.00	5.49	11.00	5.74	11.00	5.37	29.00	8.33	31.00	5.64	21.50	7.46
22.00	5.57	11.50	5.77	11.50	5.39	31.00	8.37	31.50	5.65	22.50	7.48
23.00	5.57	12.00	5.87	12.00	5.42	33.00	8.40	32.00	5.66	23.50	7.49
24.00	5.59	12.50	5.85	12.50	5.47	34.00	8.44	32.50	5.68	24.50	7.52
25.00	5.62	13.00	5.93	13.00	5.50	36.00	8.48	33.00	5.69	25.50	7.53
26.00	5.65	13.60	5.98	13.60	5.55	37.00	8.51	33.50	5.70	26.50	7.55
27.00	5.65	14.00	5.98	14.00	5.59	38.00	8.53	34.00	5.72	27.50	7.58
28.00	5.68	15.00	6.05	15.00	5.71	39.00	8.56	34.50	5.76	28.50	7.62
29.00	5.71	15.50	6.02	15.50	6.40	41.00	8.57	35.00	5.81	29.50	7.66
30.00	5.74	16.00	6.11	16.00	6.77	43.00	8.58	36.00	6.01	30.00	7.79
31.00	5.80	17.00	6.11	17.00	6.97	45.00	8.60	37.00	6.35	30.50	8.11
32.00	5.79	18.00	6.19	18.00	7.16	47.00	8.61	38.00	7.79	31.00	8.46
33.00	5.83	19.00	6.25	19.00	7.26	49.00	8.63	39.00	8.09	31.50	8.81
34.00	5.85	19.50	6.28	19.50	7.29	50.00	8.64	40.00	8.14	32.50	8.98
35.00	5.85	20.00	6.34	20.00	7.31			41.00	8.18	33.50	9.15
36.00	5.89	20.50	6.36	20.50	7.33			42.00	8.20	34.50	9.18
37.00	5.91	21.00	6.39	21.00	7.36			44.00	8.25	35.50	9.22
38.00	5.92	22.00	6.46	22.00	7.37			46.00	8.30	36.50	9.25
39.00	5.96	23.00	6.55	23.00	7.39			48.00	8.33	37.50	9.28

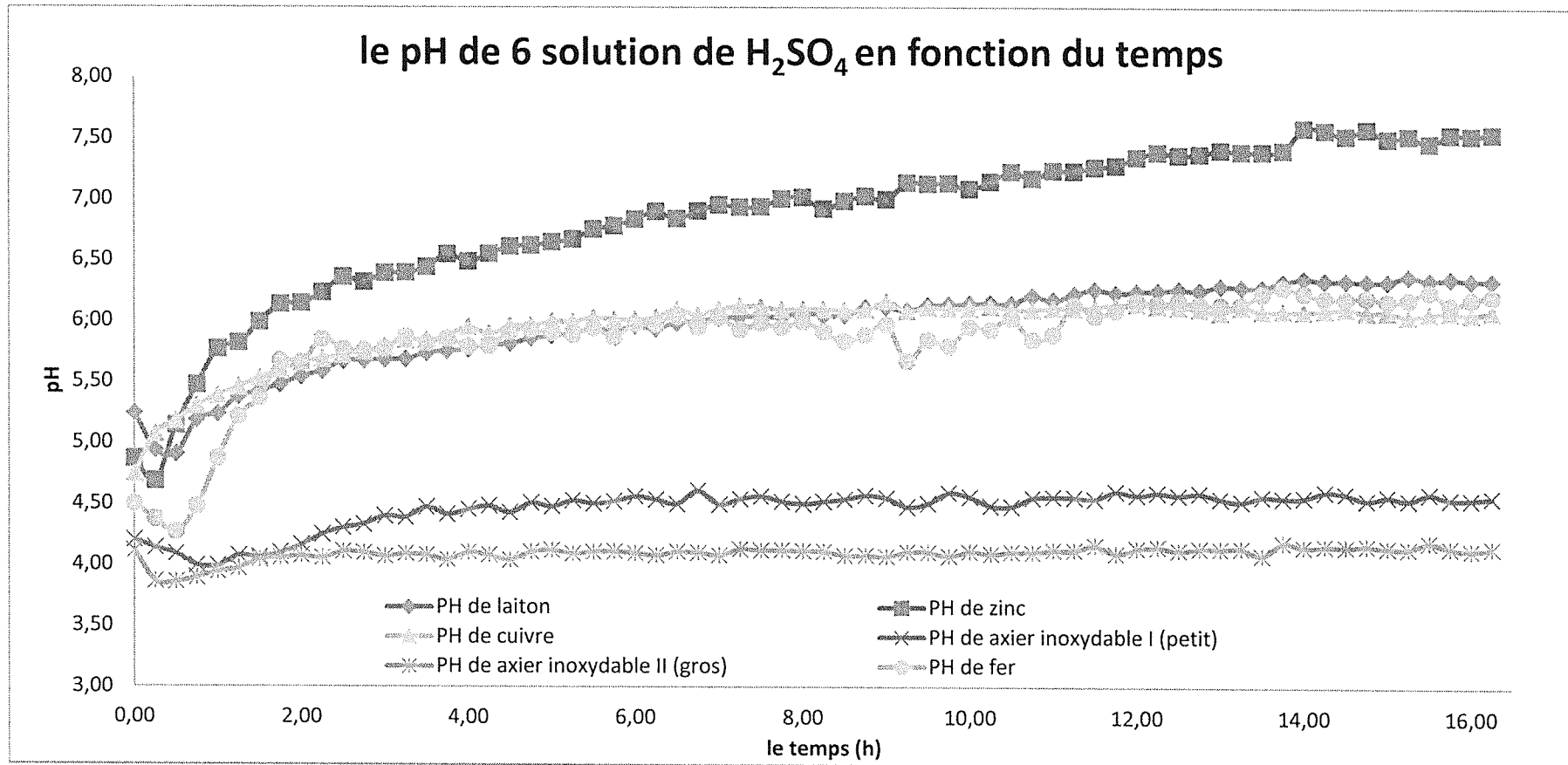
40.00	5.97	24.00	6.63	24.00	7.42			50.00	8.38	38.50	9.30
41.00	6.01	25.00	6.76	25.00	7.46			52.00	8.40	39.50	9.33
42.00	6.01	26.00	6.92	26.00	7.47			54.00	8.42	40.50	9.36
43.00	6.04	26.50	7.00	26.50	7.48			56.00	8.43	41.50	9.38
44.00	6.07	26.80	7.15	26.80	7.50			58.00	8.44	42.50	9.41
45.00	6.10	27.20	7.17	27.20	7.51			59.00	8.46	43.50	9.44
46.00	6.20	27.70	7.22	27.70	7.52			60.00	8.47	44.50	9.46
47.00	6.22	28.20	7.34	28.20	7.55			61.00	8.48	46.00	9.49
48.00	6.26	29.00	7.42	29.00	7.56			62.00	8.50	48.00	9.51
49.00	6.31	29.50	7.52	29.50	7.57			63.00	8.51	50.00	9.52
50.00	6.39	30.00	7.60	30.00	7.58			64.00	8.52	52.00	9.54
51.00	6.56	31.00	7.68	31.00	7.59			65.00	8.53	53.00	9.56
52.00	6.63	32.00	7.84	32.00	7.59					54.00	9.57
52.50	6.68	32.50	7.81	32.50	7.60					55.00	9.58
53.00	6.74	33.30	7.85	33.30							
53.50	6.78	34.00	7.92	34.00							
54.00	6.89	34.50	8.01	34.50							
54.50	6.92	35.00	7.93	35.00							
55.00	6.99	35.50	7.96	35.50							
55.50	7.03	36.50	7.95	36.50							
56.00	7.12	37.00	8.07	37.00							
56.50	7.18	37.50	8.10	37.50							
57.50	7.29	38.50	8.10	38.50							
58.00	7.34	39.50	8.14	39.50							
59.00	7.46	40.50	8.13	40.50							
60.00	7.55	41.50	8.21	41.50							

61.00	7.64	42.50	8.22	42.50							
62.00	7.72	44.50	8.25	44.50							
63.00	7.81	46.50	8.28	46.50							
64.00	7.92	48.50	8.36	48.50							
65.00	8.05	50.00	8.38	50.00							
67.00	8.20										
69.00	8.30										
71.00	8.37										
73.00	8.52										
76.00	8.64										
79.00	8.78										
82.00	8.89										
85.00	9.05										
88.00	9.16										
91.00	9.19										
94.00	9.30										
97.00	9.37										
100.00	9.43										
103.00	9.42										
106.00	9.50										
109.00	9.48										
112.00	9.51										
115.00	9.52										
118.00	9.57										

Observation : les résultats ont été pris avec précision

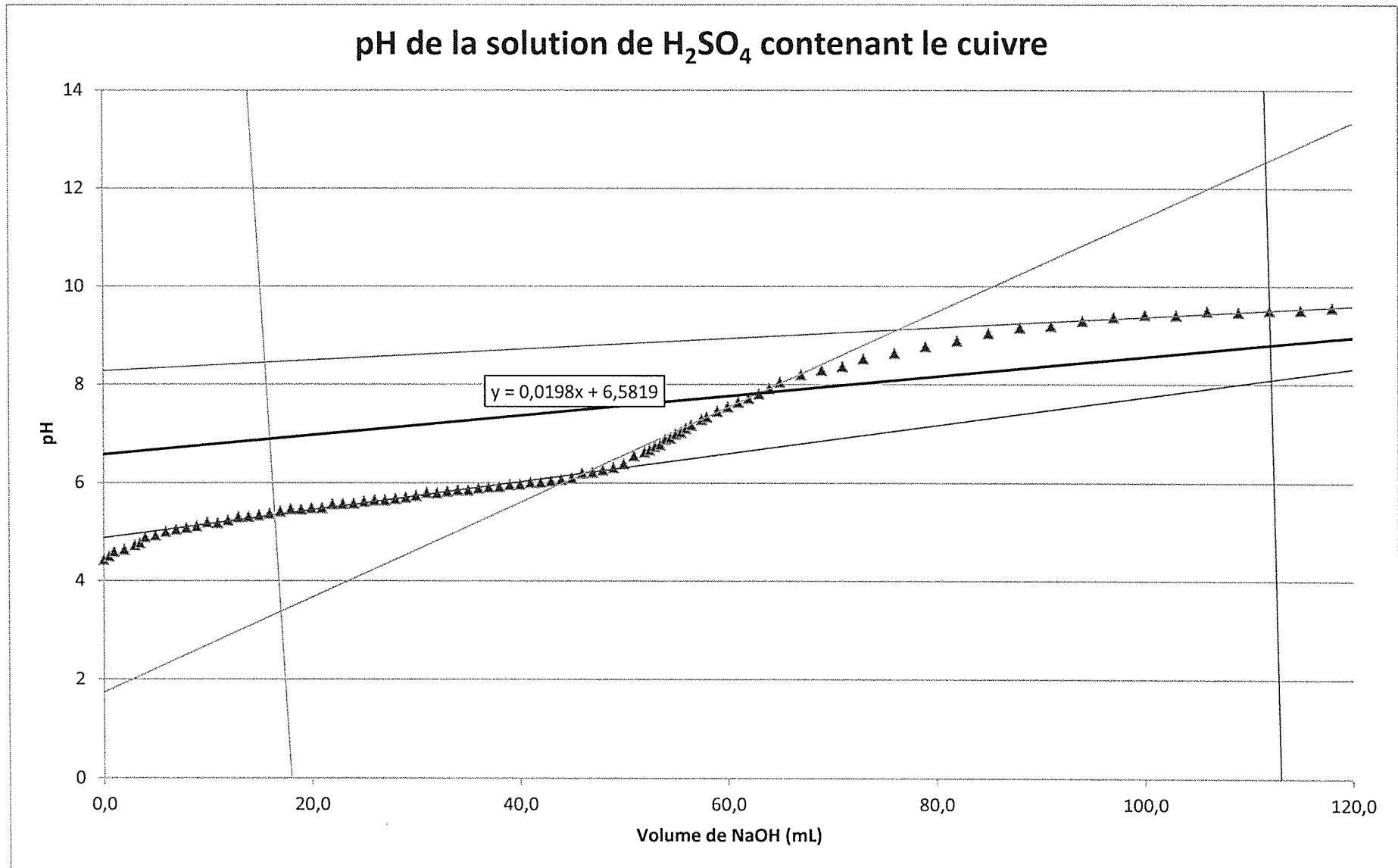
Tableau des données traitées :

Graphique 1 : le pH de 6 solutions de H₂SO₄ en fonction du temps

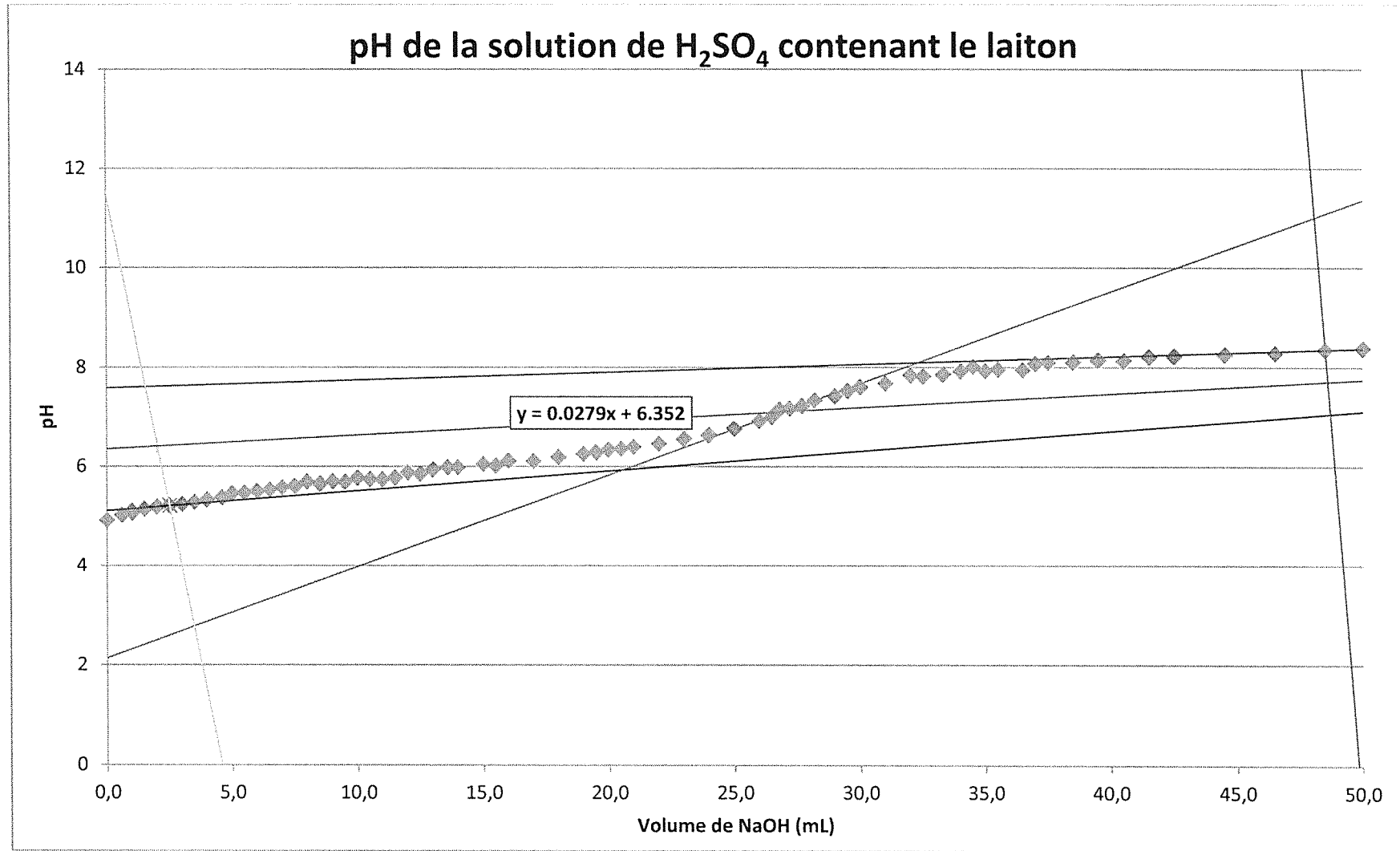


Énoncé des résultats : le pH de l'acier inoxydable II augmente moins rapidement que tous les autres matériaux. Les deux aciers inoxydables semblent avoir une différence de pH final marqué avec les autres matériaux.

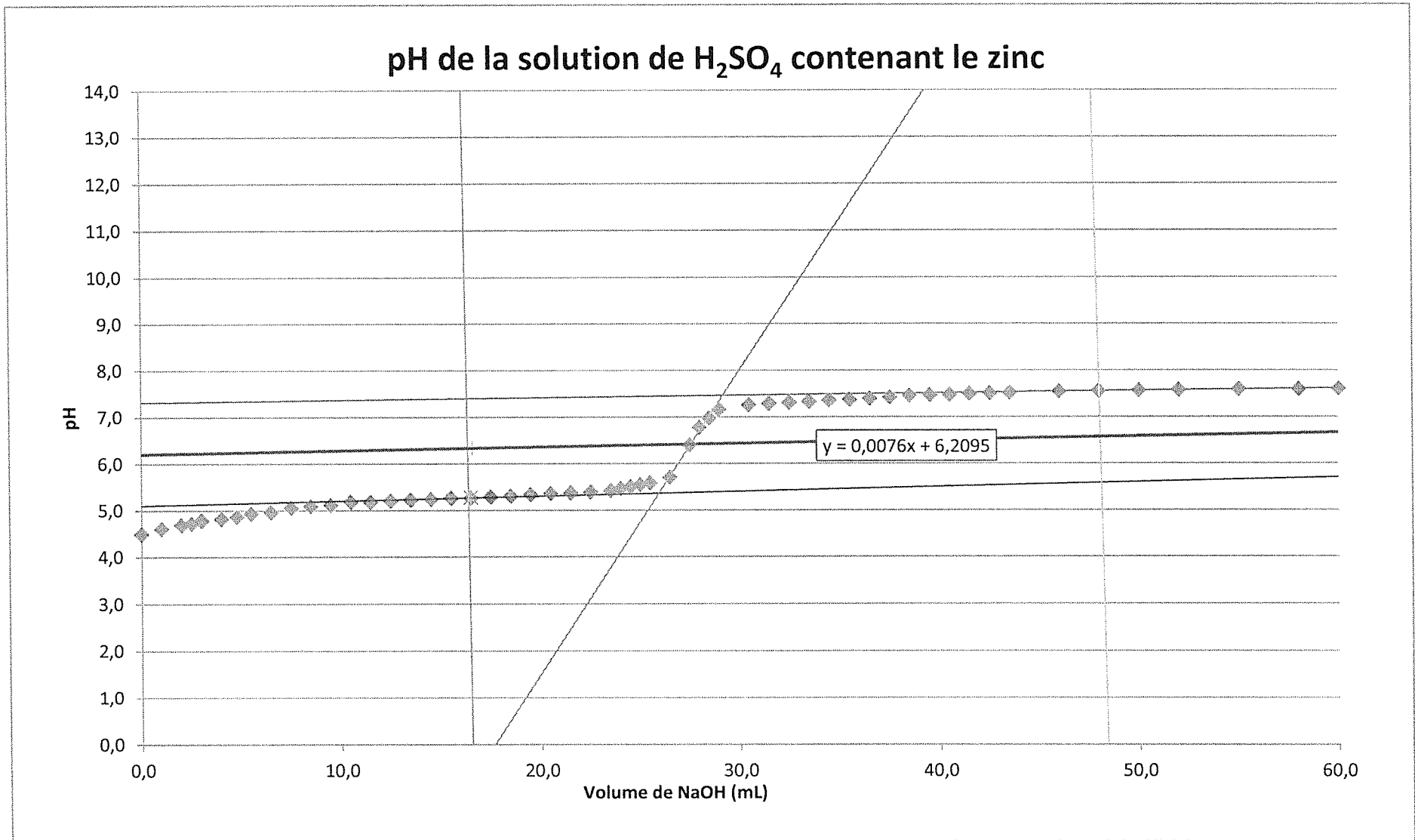
Graphique 2 : courbe de dosage potentiométrique de H₂SO₄ contenant le cuivre par le NaOH



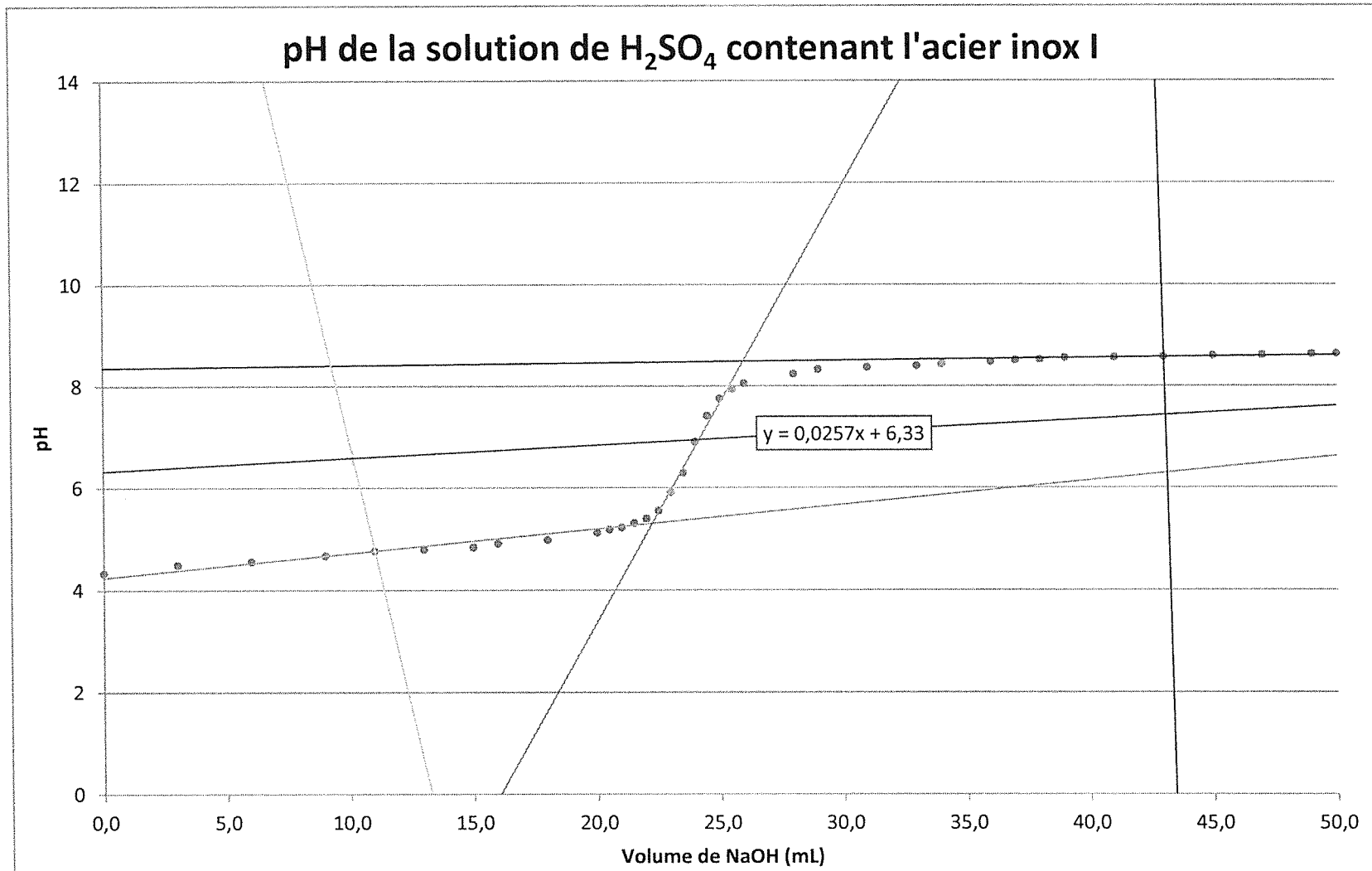
Graphique 3 : courbe de dosage potentiométrique de H₂SO₄ contenant le laiton par le NaOH



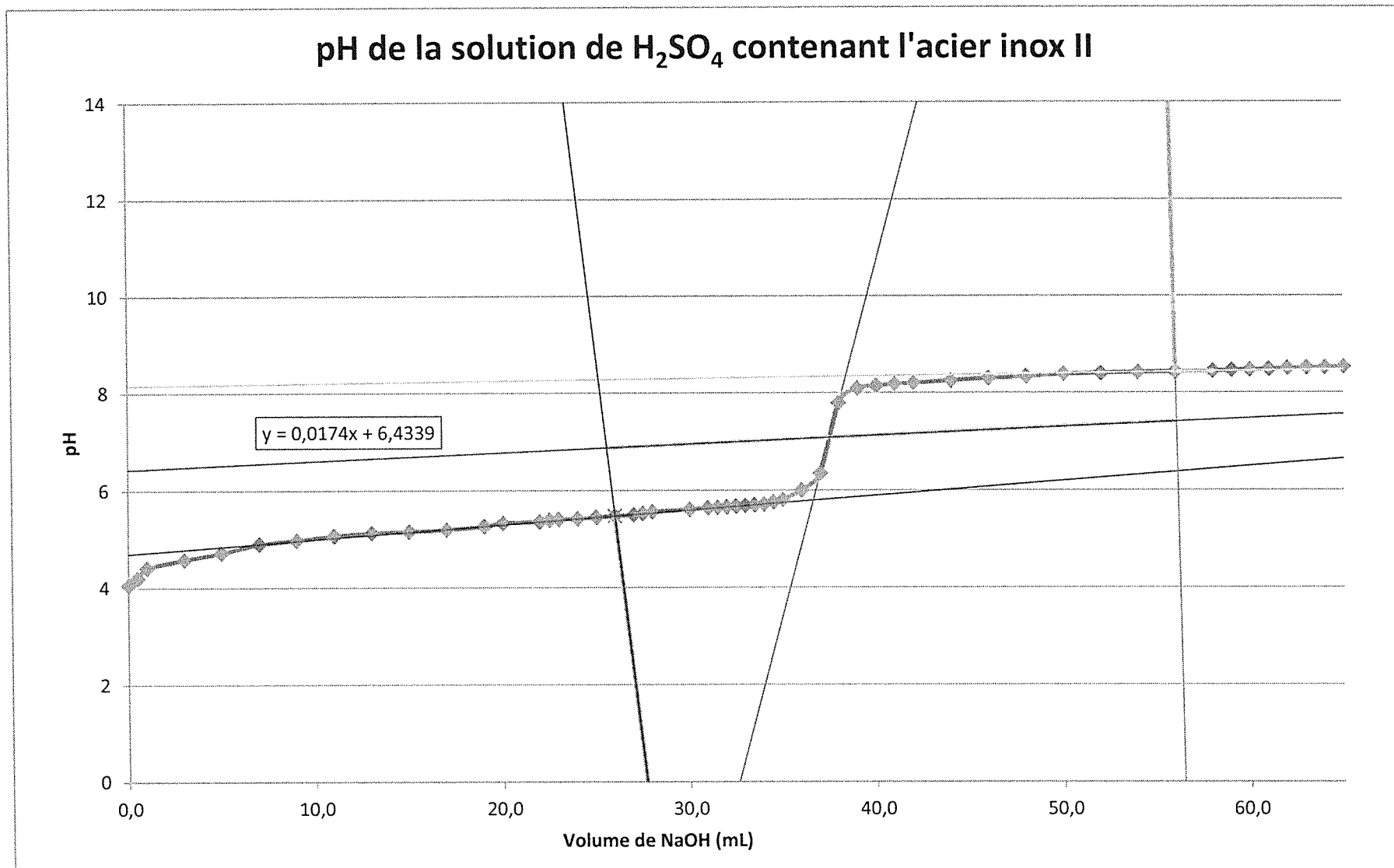
Graphique 4 : courbe de dosage potentiométrique de H₂SO₄ contenant le zinc par le NaOH



Graphique 5: courbe de dosage potentiométrique de H₂SO₄ contenant l'acier inoxydable I par le NaOH



Graphique 6 : courbe de dosage potentiométrique de H₂SO₄ contenant l'acier inoxydable II par le NaOH



Graphique 7 : courbe de dosage potentiométrique de H_2SO_4 contenant fer par le NaOH

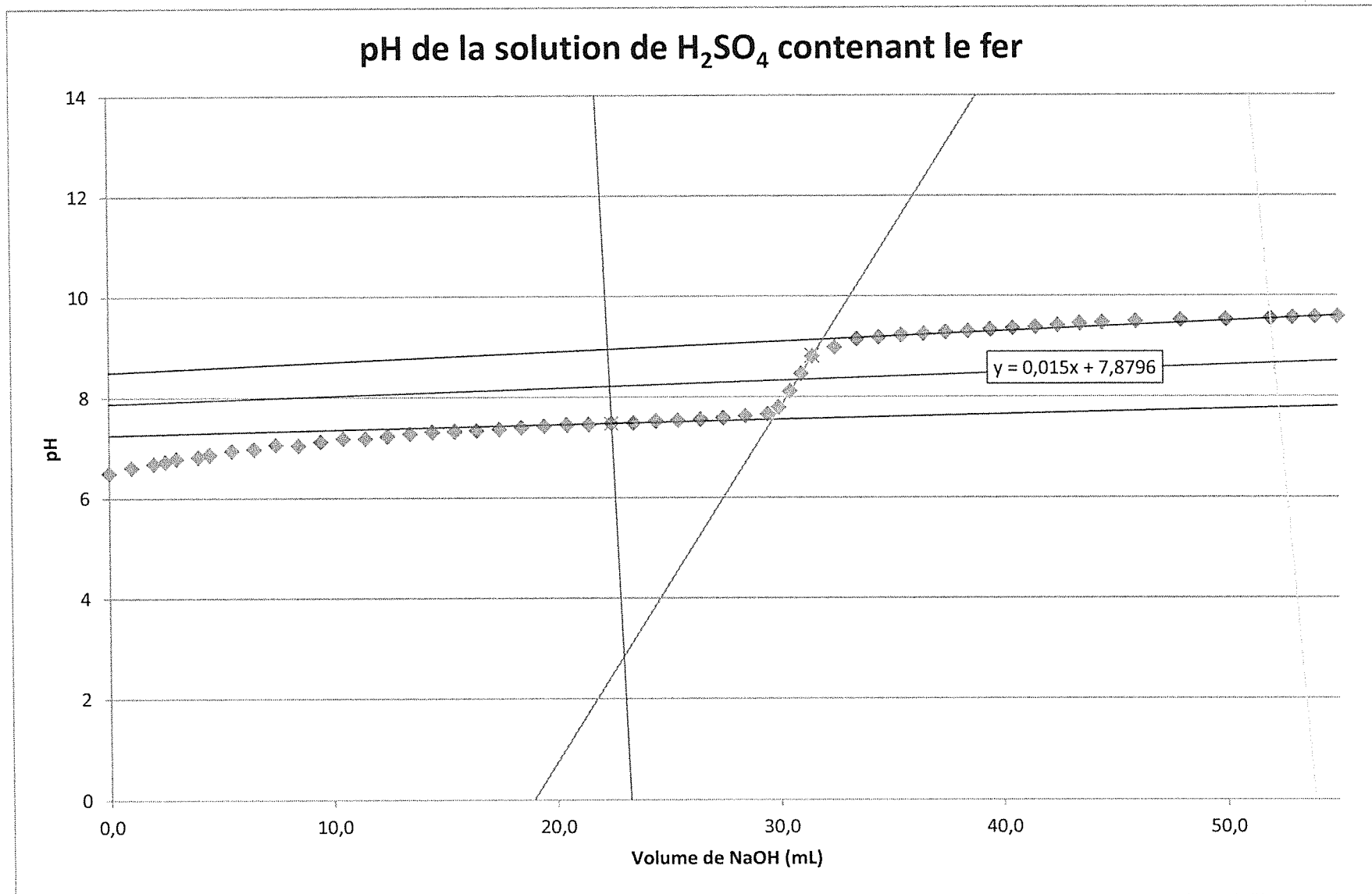


Tableau 5 : la masse perdu des 6 matériaux métalliques

	cuivre	laiton	zinc	acier inox. I	acier inox. II	fer
	g	g	g	g	g	g
	±0,002	±0,002	±0,002	±0,002	±0,002	±0,002
masse perdue	0,917	0,860	1,222	0,111	0,013	1,030

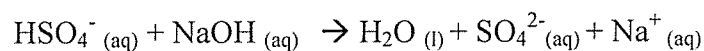
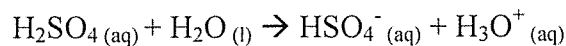
Tableau 6 : les pH de virage, les volumes équivalents, le nombre de H₂SO₄ initiale dans chaque bécher avant 16 h de trempage, le nombre de mol de NaOH utilisé pour le dosage, le nombre de mol de H₂SO₄ dosé et le nombre de H₂SO₄ réagit pendant les 16 h de trempage des 6 solutions de H₂SO₄

Solution contenant le :	pH de virage	Volume équivalent de NaOH	Mol de H ₂ SO ₄ initiale dans chaque bécher avant 16 h de trempage	Mol de NaOH utilisé pour dosage	Mol de H ₂ SO ₄ dosé	Mol H ₂ SO ₄ réagit pendant les 16 h de trempage
		(mL)	(mol)	(mol)	(mol)	(mol)
			(0,000 000 1)	(±0,000 000 03)	(±0,000 000 02)	(± 0, 000 000 2)
cuivre	7.8292	62.9299	0.000 010 0	0.000 003 15	0.000 001 58	0.000 008 4
zinc	6.4189	26.8961		0.000 001 35	0.000 000 68	0.000 009 3
laiton	7.1024	27.5526		0.000 001 38	0.000 000 69	0.000 009 3
acier inoxydable I (petit)	6.9607	24.5409		0.000 001 23	0.000 000 62	0.000 009 4
acier inoxydable II (gros)	7.0942	37.3736		0.000 001 87	0.000 000 94	0.000 009 1
fer	8.7796	66.1093		0.000 003 31	0.000 001 66	0.000 008 3

*Voir ANNEXE II-VI pour les exemples de calcul

DISCUSSION:

L'expérimentation consiste à déterminer le matériau métallique le plus résistant aux pluies acides, en trempant les différents matériaux dans une solution de H_2SO_4 de pH égal à 4,0 pendant 16 heures. La méthode employée ici est très simple. Il faudra tremper les 6 métaux ayant à peu près la même surface de contact dans cette solution de H_2SO_4 durant environ 16 heures et enregistrer la variation du pH de chaque solution. Finalement, il faut simplement faire un dosage potentiométrique des solutions de H_2SO_4 pour en connaître le pH de virage afin de le comparer avec le pH théorique, qui est de 7 habituellement, pour savoir la précision et l'exactitude. Cependant, dans le cas ci-présent, le pH de virage est un peu plus haut que d'habitude, puisque la solution de H_2SO_4 utilisé est d'une faible concentration et l'acide utilisé est un diacide. Ceci fait en sorte que les réactions suivantes se produisent:



L'ion SO_4^{2-} produit est une base conjuguée de l'acide faible HSO_4^- , l'ion SO_4^{2-} est donc une base faible. Donc, le pH de virage devrait être légèrement plus élevé que 7, dû à la présence de cette base faible. Aussi, la forme des courbes de dosage potentiométrique ici doit être celle d'un acide faible ($\text{HSO}_4^- \text{ (aq)}$) à cause de la réaction de H_2SO_4 avec les molécules d'eau, ce qui est bien le cas d'après les résultats de l'expérience.

D'après l'hypothèse de départ, le matériau le plus résistant est l'acier inoxydable II, puisque cet alliage, comme son nom l'indique, devrait résister aux oxydations. Il devrait avoir un petit pouvoir réducteur. Il devrait être mieux que l'acier inoxydable I, puisque sa surface de contact totale est moins grande que ce dernier. Les autres métaux ou alliages devraient avoir une différence marquée avec

les aciers inoxydables au niveau de la réactivité, puisqu'ils sont, pour la plupart, des métaux de transition, qui ont tout de même une réactivité avec les acides. D'après l'équation du taux de corrosion, plus la masse volumique est élevée, plus ce taux est petit. Donc, l'ordre des matériaux restant qui résiste le mieux aux acides doit être : le laiton, le cuivre, le fer et le zinc.

En réalité, d'après ce qu'on peut voir sur le graphique I, pendant l'expérience, l'ordre croissant de réactivité des matériaux est la suivante : l'acier inoxydable II, l'acier inoxydable I, le cuivre, le fer, le laiton et le zinc. L'ordre déterminé a été presque tout respecté, sauf pour le laiton. En effet, pendant l'expérience, le pH du laiton est très instable, mais il est possible d'observer qu'avant 11 heures de réaction, il réagit effectivement moins que le fer et le cuivre. De plus, l'écart entre le pH de ces 3 matériaux est très petit (environ 0.1) et l'incertitude du pH-mètre est présente. Ces deux facteurs nous permettent de dire que cette erreur minimale n'est pas suffisante pour contredire l'hypothèse. Donc, il est possible de conclure que l'ordre prédit est plutôt juste, ce qui signifie que l'hypothèse de départ est bonne.

Aussi, si les matériaux réagissent avec l'acide, ils perdent de la masse. Ceux qui réagissent rapidement vont alors perdre plus de masse. D'après les données du tableau 5, il est possible de constater que l'ordre croissant de masse perdue est : l'acier inoxydable II (0,0013 g), l'acier inoxydable I (0,111 g), le laiton (0,860 g), le cuivre (0,917 g), le fer (1,030 g) et le zinc (1,222 g). Cet ordre est identique à celui de l'ordre prédit de l'augmentation de pH, ce qui confirme la validité des résultats de pH obtenus.

Au niveau des quantités de H_2SO_4 qui restent, selon la logique, plus le matériau est résistant aux pluies acides, plus il devrait rester de molécules de H_2SO_4 intactes à la fin des 16 heures. Alors, durant le dosage potentiométrique, les matériaux, pour lesquels dont le pH n'a pas augmenté de façon significative durant les 16 heures de réaction, auront un volume équivalent de NaOH plus grand pour

atteindre le pH d'équilibre. L'ordre décroissant des volumes de NaOH doit être : l'acier inoxydable II, l'acier inoxydable I, le laiton, le cuivre, le fer et le zinc. Ceci permet de valider la conclusion tirée avec l'évolution des pH.

En réalité, on peut observer sur le graphique 2 à 7 que cet ordre a été plus ou moins respecté. L'ordre décroissant des volumes équivalents expérimental est la suivante : le fer, le cuivre, l'acier inoxydable II, le zinc, le laiton et l'acier inoxydable I. Le matériau dont le pH augmenté de façon la plus insignifiante, l'acier inoxydable II, a eu un volume équivalent de 37,3736 mL, ce qui est 25,5563 mL de moins que le volume équivalent du cuivre (62,9299mL), qui est un métal moins résistant. Aussi, le fer, qui est le moins résistant aux acides que les aciers inoxydables, a eu un volume équivalent de 66.1093 mL, qui 28.735 mL de plus que celui de l'acier inoxydable II. Ces résultats montrent que beaucoup d'inexactitude et des incertitudes dues aux manipulations sont présentes.

Aussi, de cette façon, si on soustrait la quantité de H_2SO_4 qui a réagi pendant le dosage potentiométrique (obtenu grâce au volume équivalent) de la quantité initiale, il est possible d'obtenir le nombre de moles de cet acide qui a été consommé durant les 16 heures de réactions. En théorie, plus le pH de la solution d'acide est bas à la fin des 16 heures, plus la quantité d' H_2SO_4 qui a réagi doit être petite.

Pendant l'expérience, ce n'est pas du tout cela qui a été constaté. Le cuivre (qui a réagi avec 0.0000083 mole d'acide) et le zinc (qui a réagi avec 0.0000093 mole d'acide) sont les deux matériaux qui ont subi moins de dégradation d'après les résultats obtenus. Ensuite, l'ordre du matériau le moins dégradé au matériau le plus dégradé est : l'acier inoxydable II, le zinc et le laiton, l'acier inoxydable I. Ceci montre qu'encore une fois, beaucoup d'inexactitude et des incertitudes sont présentes.

Au niveau de l'exactitude des résultats, il est possible de constater que les résultats sont plus ou moins exacts, puisque les points de virage de pH déterminés avec les courbes de dosage potentiométrique concordent plus ou moins avec la valeur

théorique, qui doit être un peu supérieure à 7. En effet, par exemple, pour le fer, le pH trouvé est de 8.7796, ce qui est beaucoup plus élevé par rapport à ce qui est attendu. Aussi, pour l'acier inoxydable I, le pH de virage est de 6.9607, ce qui n'est pas normal. De plus, pour le zinc, le pH de virage est de 6.4189, ce qui est beaucoup plus bas que la valeur théorique. Finalement, quant au calcul de la quantité de H_2SO_4 qui reste à la fin de 16 heures et du volume équivalent, de nombreuses erreurs ont été observées, comme disait ci-dessus.

Les résultats sont plus ou moins précis aussi, car les pH finaux après 16 heures de réactivité ne sont pas identiques aux pH au début de dosage potentiométrique, qui, pourtant, doivent être les mêmes. Il y a un écart de 1.42 pour le laiton ce qui est environ 22 % en incertitude relative si on considère que le pH exact est celui du début de dosage. Ceci suggère que des erreurs d'instruments (électrode) sont très présentes.

Cependant, malgré les incertitudes et les imprécisions, il est tout de même possible de conclure en disant que le matériau de construction idéal pour résister aux pluies acides est l'acier inoxydable II, qui ont moins de surface de contact total que l'acier inoxydable I.

Évaluation de procédure et améliorations possibles :

D'abord, lors des calibrations des électrodes, les solutions tampons ont peut-être été contaminées, puisqu'ils sont entrés en contact avec les 6 électrodes, qui ont testé d'autres produits tels que le H_2SO_4 et l'eau. Ceci affecte l'exactitude des données. Lors d'une prochaine expérience, les électrodes devront être nettoyées avec de l'eau distillée et séchées afin de ne pas contaminer les solutions tampons, avec les restants des solutions testées.

Aussi, les électrodes sont différentes les unes des autres, donc malgré le fait qu'elles sont calibrées, ils ne donneront pas les mêmes résultats si elles sont trempées

dans un même acide. C'est pour cette raison que lorsque l'on fait les dosages potentiométriques avec les solutions de H_2SO_4 déjà réagit, les pH initiaux ne sont jamais identiques aux pH finaux qu'on a obtenu à la fin de 16 heures de réaction. Ce ne sont pas les mêmes électrodes qui ont été utilisées. Il serait donc préférable d'utiliser une seule électrode une prochaine fois, si le temps le permet, pour assurer que l'incertitude due à la différence entre les électrodes ne soit plus présente.

De plus, les solutions de H_2SO_4 contenant les matériaux n'ont pas été couvertes afin d'éviter le contact avec l'air. Donc les molécules dans l'air, telles que le CO_2 , peuvent réagir avec l'acide ou le matériau et ceci affecte l'exactitude des résultats. Pendant la prochaine expérience, il faudra couvrir les béchers contenant les solutions de H_2SO_4 avec des pellicules de plastique afin d'éviter son contact avec les molécules contenues dans l'air.

Le nombre d'essais (1) pour chaque échantillon a aussi été très petit. Il aura fallu répéter plusieurs fois cette expérience pour chaque substance métallique afin d'être certain de la validité des résultats.

Finalement, la solution d'acide qui a réagi avec le fer et celle qui a réagi avec le zinc ont été dosées 3 mois après l'expérimentation en raison des empêchements, et il est possible de remarquer que le pH de la solution qui a réagi avec le fer a considérablement augmenté durant ces 3 mois. Celle qui contient le zinc a aussi augmenté un peu. Ceci est une incertitude qui affecte l'exactitude et la précision des résultats. Pour régler ce problème, il faudra que toute l'expérimentation soit faite dans une courte durée de temps, afin d'éviter la production d'autres réactions chimiques qui peuvent affecter le pH en le rendant moins acide.

CONCLUSION

L'hypothèse est que les métaux ayant un petit pouvoir réducteur seront plus résistants aux pluies acides. En ayant un petit pouvoir réducteur, le métal cède moins facilement des électrons et ainsi, moins de réactions peuvent se faire. Dans le cas où le pouvoir réducteur est semblable entre des matériaux, il faut alors regarder la masse volumique. Plus elle est élevée, plus le taux de corrosion sera petit, plus le matériau se dégrade lentement.

L'affirmation de l'hypothèse est tout de même possible, puisque d'après le graphique 1 (évolution du pH de 6 solutions de H_2SO_4 qui contient différents matériaux en fonction du temps), les valeurs des pH respectent assez bien l'ordre prédit, qui est : l'acier inoxydable I, l'acier inoxydable II, le laiton, le cuivre, le fer et le zinc. Le laiton est le seul matériau qui ne suit pas l'ordre, mais cette petite inexactitude n'influence pas la validité de l'hypothèse, puisque cette erreur est justifiable.

Aussi, pour ce qui concerne les calculs de validation des tendances observées lors de la prise des pH, les résultats ne sont pas vraiment en faveur de l'hypothèse proposée lors du calcul du volume équivalent et de la quantité de H_2SO_4 consommé, puisque l'ordre déterminé, du matériau métallique le plus résistant au matériau le moins résistant, n'a été vraiment respecté. Cependant, il est tout de même possible de dire que les résultats de l'expérience principale, qui est la prise des pH des 6 solutions de H_2SO_4 pendant 16 heures, sont les plus importants et sont ceux qui ont le moins de chance d'avoir des erreurs de manipulation et des incertitudes, puisque les données sont prises par Loger Pro, un logiciel d'ordinateur. Donc, il est possible de dire que l'hypothèse est tout de même confirmée. En plus, l'ordre de la perte de masse des matériaux métalliques suit exactement l'ordre prédit.

Quoique le résultat de l'expérience soit en faveur de notre hypothèse, on ne peut pas assumer, avec une seule expérience, que le lien est valide à 100 %. Il aurait fallu répéter les mêmes expériences pour en être certain. En effet, l'expérience a plusieurs faiblesses qu'il faut améliorer et ces points faibles amènent des incertitudes aux résultats, ce qui pourrait être amélioré dans un prochain protocole.

De nos jours, les pluies acides n'ont pas seulement d'effet sur les bâtiments de construction, mais aussi les lacs, rivières ou les terrains pour les plantations. En effet, les pluies acides entrent en contact avec le sol et des réactions acidobasiques se produisent. Ainsi, à cause de l'acidité des pluies acides, le pH des terrains changera, ce qui causera un changement d'environnement pour les plantes. Donc, les plantes ne pousseront plus peu à peu, ce qui est un problème pour notre environnement. Des forêts entières sont touchées par ce problème qui devient de plus en plus courant. Aussi, des lacs sont aussi victimes des pluies acides pour les mêmes raisons. La composition chimique des rivières et des étangs change avec le changement de pH.⁹

Nombre de mots total : 3972

⁹ ENVIRONNEMENT CANADA, les pluies acides, [En ligne], 2012, [<http://www.ec.gc.ca/air/default.asp?lang=Fr&n=AA1521C2-1>], (consulté le 19 novembre 2012).

ANNEXE

ANNEXE I

Titre : les masses volumiques des matériaux

SOLIDES à 20 °C	g/cc
Zinc	7,14
Fer	7,86
Cuivre	8,92

10

¹⁰ UQAM, Masse volumique, [En ligne], 2012, [<http://www.er.uqam.ca/nobel/m357114/mv.htm>], (consulté le 21 novembre 2012).

ANNEXE II

Titre : exemple de calcul pour la masse perdu des métaux (pour le cuivre)

Masse perdu de cuivre = masse initiale de cuivre – masse finale de cuivre

Masse perdu de cuivre = 43,652 – 42,735

Masse perdu de cuivre = 0,917 g

Δ Masse perdu de cuivre = Δ masse initiale de cuivre + Δ masse finale de cuivre

Δ Masse perdu de cuivre = 0,001 + 0,001

Δ Masse perdu de cuivre = 0,002g

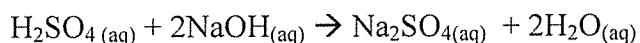
Réponse : Masse perdu de cuivre = (0,917 ± 0,002)g

ANNEXE III

Titre : Exemple de calculs de pH de virage et volume équivalent pour le cuivre

I. Zinc : dosage NaOH – H₂SO₄

1. Équation de neutralisation :



2. Le pH et le volume équivalent :

1. Tangentes des plateaux en phases acide et basique

Tous les points des plateaux ont été sélectionnés pour générer deux droites de tendance.

La tangente du plateau en phase acide est une droite de tendance générée à partir des points 0 à 40 en x (volume de NaOH) tandis que la tangente du plateau en phase basique est une droite de tendance générée à partir des points 90 à 100 en x.

2. Droites perpendiculaires aux tangentes des plateaux

Le produit des pentes de deux droites perpendiculaires est de -1.

$$m_{T_{acide}} \times m_{P_{acide}} = -1$$

$$m_{P_{acide}} = \frac{-1}{m_{T_{acide}}} = \frac{-1}{0.27} = -3.48$$

L'équation d'une fonction de premier degré (droite) est sous forme de $y = -3.48x + b$.

Il faudrait donc substituer x et y par un point (x, y) pour pouvoir trouver le b :

$$P_{acide}(x) = -3.48x + b$$

$$b = 5.27 + 3.48 \times 16.5 = 62.76$$

$$P_{acide}(x) = -3.48x + 62.76$$

Il est donc possible de trouver un autre point pour dessiner la droite :

$$P_{acide}(x) = -3.48x + 62.76$$

$$0 = -3.48x + 62.76$$

$$x = 18.01$$

L'autre droite perpendiculaire peut être trouvée de la même façon.

3. Les demi-hauteurs (le 1^{er})

Il faudra trouver les 2 points d'intersection avec les deux tangents afin de savoir les hauteurs :

$$\begin{aligned} 1. \quad & y = 0.011x + 8.275 \\ & y = -3.4843x + 62.761 \end{aligned}$$

$$0.011x + 8.275 = -3.4843x + 62.761$$

$$3.5953x = 54.486$$

$$x = 15.6548$$

$$y = 0.011x + 8.275 = 8.4417$$

$$\begin{aligned} 2. \quad & y = 0.0287x + 4.8798 \\ & y = -3.4843x + 62.761 \end{aligned}$$

$$0.0287x + 4.8798 = -3.4843x + 62.761$$

$$3.513x = 57.8812$$

$$x = 16.4762$$

$$y = 0.0287x + 4.8798 = 5.5327$$

En ayant les coordonnées des intersections, il est possible de trouver aussi les demi-hauteurs :

$$x : (15.5548 + 16.4762) \div 2 = 16.0355$$

$$y : (8.4417 + 5.5327) \div 2 = 6.9042$$

4. Le point équivalent

En générant une droite passant par les deux points trouvés ci-dessus, on peut appliquer la méthode du point d'inflexion, soit le point d'intersection entre la courbe de neutralisation et la droite reliant les points milieux des deux hauteurs.

$$y = 0.0968x + 1.7363$$

$$y = 0.0198x + 6.5819$$

$$0.0968x + 1.7363 = 0.0198x + 6.5819$$

$$0.077x = 4.8456$$

$$x = 62.9299 \text{ mL}$$

$$y = 0.0198x + 6.5819 = 7.8279$$

Réponse : le pH équivalent est 7.82 et le volume équivalent de H₂SO₄ est 62,929 mL.

ANNEXE IV

Titre : exemple de calcul pour le nombre de moles initiales de H_2SO_4 dans chaque bécher avant les 16 heures de réaction.

Nombre de moles initiales

$$\text{Nombre de moles initiales} = \frac{\text{concentration de } H_2SO_4 \text{ non dilué} \times \text{volume de } H_2SO_4 \text{ non dilué}}{\text{volume finale dilué}} \times \text{volume de } H_2SO_4 \text{ dilué pris}$$

$$\text{Nombre de moles initiales} = \frac{3,00M \times 0,0167mL}{1000mL} \times 200,0mL \times \frac{L}{1000 mL}$$

$$\text{Nombre de moles initiales} = 0,00001002 \text{ mol}$$

Δ Nombre de moles initiales

$$\Delta \text{ Nombre de mole initiale} = \left(\frac{\Delta \text{ concentration de } H_2SO_4 \text{ non dilué}}{\text{concentration de } H_2SO_4 \text{ non dilué}} + \frac{\Delta \text{ volume de } H_2SO_4 \text{ non dilué}}{\text{volume de } H_2SO_4 \text{ non dilué}} + \frac{\Delta \text{ volume finale dilué}}{\text{volume finale dilué}} + \frac{\Delta \text{ volume de } H_2SO_4 \text{ dilué pris}}{\text{volume de } H_2SO_4 \text{ dilué pris}} \right) \times \text{nombre de mole initiale}$$

$$\Delta \text{ Nombre de mole initiale} = \left(\frac{\Delta 0,01M}{3,00M} + \frac{0,0001mL}{0,0167mL} + \frac{0,24mL}{1000,00mL} + \frac{0,1mL}{200,0mL} \right) \times \text{nombre de moles initiale}$$

$$\Delta \text{ Nombre de mole initiale} = 0,0000001008 \text{ mol}$$

Réponse : Nombre de mole initiale = (0,0000100 \pm 0,0000001) mol

ANNEXE V

Titre : exemple de calcul pour le nombre de mole de NaOH utilisé pour atteindre le pH de virage (pour le cuivre)

Mol de NaOH utilisé pour dosage = C .NaOH dilué × volume équivalent de NaOH

$$\text{Mol de NaOH utilisé pour dosage} = \frac{V.NaOH\text{ initiale utilisé} \times C.NaOH\text{ initiale}}{V.total\ NaOH\ dilué} \times 62,929\ \text{mL}$$

$$\text{Mol de NaOH utilisé pour dosage} = \frac{0,4817\text{mL} \times 0,104\text{mol/L}}{1000\text{mL}} \times 62,929\ \text{mL} \times \frac{L}{1000\text{mL}}$$

$$\text{Mol de NaOH utilisé pour dosage} = 0,000\ 003153\ \text{mol}$$

$$\Delta \text{ Mol de NaOH utilisé pour dosage} = \left(\frac{\Delta V.NaOH\text{ initiale utilisé}}{V.NaOH\text{ initiale utilisé}} + \frac{\Delta C.NaOH\text{ initiale}}{C.NaOH\text{ initiale}} + \frac{\Delta V.total\ NaOH\ dilué}{V.total\ NaOH\ dilué} \right) \times \text{Mol de NaOH utilisé pour dosage}$$

$$\Delta \text{ Mol de NaOH utilisé pour dosage} = \left(\frac{0,0001}{0,4817} + \frac{0,001}{0,104} + \frac{0,75}{1000,00} \right) \times 0,000003153\ \text{mol}$$

$$\Delta \text{ Mol de NaOH utilisé pour dosage} = 0,000\ 000\ 033$$

Réponse : Mol de NaOH utilisé pour ce dosage = (0,000 003 15 ± 0,000 000 03)mol

ANNEXE VI

Titre : exemple de calcul pour le nombre de mole de H_2SO_4 qui ont réagi avec le NaOH (pour le cuivre)

$$\text{Mol } H_2SO_4 \text{ réagit} = \text{Mol de NaOH} \times \frac{1 \text{ mol } H_2SO_4}{2 \text{ mol NaOH}}$$

$$\text{Mol } H_2SO_4 \text{ réagit} = 0,000\ 003\ 15 \times \frac{1 \text{ mol } H_2SO_4}{2 \text{ mol NaOH}}$$

$$\text{Mol } H_2SO_4 \text{ réagit} = 0.000\ 001\ 58 \text{ mol}$$

$$\Delta \text{Mol } H_2SO_4 \text{ réagit} = \left(\frac{\Delta \text{Mol de NaOH utilisé pour dosage}}{\text{mol de NaOH}} \right) \times \text{mol } H_2SO_4$$

$$\Delta \text{Mol } H_2SO_4 \text{ réagit} = (0,000\ 000\ 033 / 0,000\ 003\ 153 \text{ mol}) \times 0.000\ 001\ 58 \text{ mol}$$

$$\Delta \text{Mol } H_2SO_4 \text{ réagit} = 0,000\ 000\ 017$$

Réponse : Mol H_2SO_4 réagit = (0.000 001 58 ± 0,000 000 02) mol

ANNEXE VII

Titre : exemple de calcul pour le nombre de mole de H_2SO_4 qui ont réagi pendant les 16 heures (pour le cuivre)

Mol H_2SO_4 réagit = mol H_2SO_4 initial – mol H_2SO_4 dosé (qui ont réagi avec NaOH)

Mol H_2SO_4 réagi = 0,0000100 - 0,00000158

Mol H_2SO_4 réagi = 0,000008425 mol

Δ Mol H_2SO_4 réagi = (Δ mol H_2SO_4 initial + Δ mol H_2SO_4 dosé (qui ont réagi avec NaOH))÷2

Δ Mol H_2SO_4 réagi = (0,0000001+ 0,0000003) ÷2

Δ Mol H_2SO_4 réagi = (0,0000001+ 0,0000003) ÷2

Δ Mol H_2SO_4 réagi = 0,000 000 2

Mol H_2SO_4 réagi = (0,000 008 4±0,000 000 2) mol

BIBLIOGRAPHIE

Encyclopédie :

1. ENCYCLOPÉDIE CANADIENNE, Pluies acides, [En ligne], 2012, [<http://www.thecanadianencyclopedia.com/articles/fr/pluies-acides>], (consulté le 6 novembre 2012).

Livre :

2. HILL ET PETRUCCI , John William et Ralph H. Chimie des solutions, California State University, San Bernardino, 2008, 300p.

Internet:

3. CORROSION DOCTORS, Corrosion rate conversion, [En ligne], [<http://www.corrosion-doctors.org/Principles/Conversion.htm>], (consulté le 19 novembre 2012).
4. ENVIRONNEMENT CANADA, les pluies acides, [En ligne], 2012, [<http://www.ec.gc.ca/air/default.asp?lang=Fr&n=AA1521C2-1>], (consulté le 19 novembre 2012).
5. INDUSTRIEL CHEMISTRY, section 12, [En ligne], [http://www.jghs.edin.sch.uk/Departments/MathScience/chemistrynotes/highernotes/chemistryhighernotes/industrial_chemistry12.pdf], (consulté le 6 novembre 2012).
6. LES PLUIES ACIDES, Comment l'homme peut-il lutter contre les pluies acides ?, [En ligne], 2010, [<http://tpepluiesacides.e-monsite.com/pages/tpe/y-remedier.html>], (consulté le 6 janvier 2013).

7. PLUIES ACIDES, conséquences des pluies acides, [En ligne], 2008, [<http://pluies-acides.webnode.fr/consequences-des-pluies-acides/>], (consulté le 6 novembre 2012).
8. SCIENCE ACROSS EUROPE, pluies acides sur l'europe, [En ligne], 1999, [<http://www.nationalstemcentre.org.uk/dl/8030005e00645b4f98ab2f3e85dc7092b60ece84/5577-AR%20Complete%20Topic%20French.pdf>], (consulté le 6 novembre 2012).
9. WEB QC.ORG, chemical portal, [En ligne], 2013, [[http://www.webqc.org/balance.pHp?reaction=Fe\(s\)%2BH2SO4\(aq\)%3DFeSO4\(aq\)%2BH2\(g\)](http://www.webqc.org/balance.pHp?reaction=Fe(s)%2BH2SO4(aq)%3DFeSO4(aq)%2BH2(g))], (consulté le 6 janvier 2013).

REMERCIEMENT

Merci à :

Pour leurs aides et leur collaboration durant tout le processus de la création de ce mémoire.