

Erreurs Commises Lors Du Calcul De Ph Des Solutions D'électrolytes Par Les Elèves De 3^e Année De L'option Science Des Ecoles De Bunia En République Démocratique Du Congo

[Errors In Ph Calculation Among Third-Year Science Pupils In Bunia, Democratic Republic Of The Congo]

KAMUHANDA B. Jacob¹, MIMILYABO S. Pascal⁴, BULUKU E. Alain³, MASANDI M. Alphonse⁴

¹Section Sciences-Exactes, Département de Biologie-chimie, ISP-Bunia, RD Congo

²Section Biologie médicale, ISTM-Bunia, RD Congo

³Faculté des sciences, Université Pédagogique Nationale, RD Congo

⁴Faculté de Pédagogie et de Didactique des Disciplines, Université Pédagogique Nationale, RD Congo

Auteur correspondant : KAMUHANDA BUGASAKI Jacob, kamuhandabugasaki@gmail.com



Résumé : 252 élèves de 3^e année Science de 12 écoles de Bunia (Ituri, République Démocratique du Congo) ont été soumis à un questionnaire composé de trois questions en vue d'identifier les erreurs qu'ils commettent lors le calcul de pH des solutions d'électrolytes. Au terme de cette étude, les résultats globaux nous ont révélé comme erreurs le mauvais choix de la formule de pH, la confusion entre les acides, bases et sels, les erreurs mathématiques, la négligence des équilibres chimiques et la mauvaise utilisation des outils de calcul. Traités par le test Q de Cochran, les résultats ont révélé une différence statistique significative entre les proportions de ces six catégories d'erreurs identifiées chez les élèves en étude ($Q=88,68$; $p=1,27 \times 10^{-17} < 0,001$) rejetant ainsi l'hypothèse nulle d'égalité des proportions au seuil de 5 %. Par conséquent, il ressort clairement que le mauvais choix de la formule de pH (74,60 %), la confusion entre les acides, bases et sels (63,89 %), et les erreurs mathématiques (62,70 %) sont les plus fréquemment commises par les élèves échantillonnés. Au regard de ce résultat, nous recommandons aux enseignants de clarifier des concepts acido-basiques, justifier toujours le choix d'une formule et renforcer les compétences en mathématiques pour faciliter le calcul de pH des solutions d'électrolytes.

Mots-Clefs : Erreur, Calcul, Ph, Solutions D'électrolytes, 3^e Année, Science.

Abstract : 252 third-year secondary school pupils enrolled in the Science option from 12 schools in Bunia (Ituri, Democratic Republic of the Congo) were administered a questionnaire consisting of three questions to identify and rank the errors they make when calculating the pH of electrolyte solutions. The global results of this study revealed several types of errors, including the incorrect selection of the pH formula, confusion between acids, bases, and salts, mathematical errors, neglect of chemical equilibria, and improper use of calculation tools. When tested using Cochran's Q test, the results revealed a statistically significant difference among the proportions of the six categories of errors identified among the pupils under investigation ($Q = 88.68$; $p = 1.27 \times 10^{-17} < 0.001$), thereby leading to the rejection of the null hypothesis of equal proportions at the 5 % significance level. Consequently, the results clearly indicate that the incorrect selection of the pH formula (74.60 %), confusion between acids, bases, and salts (63.89 %), and mathematical errors (62.70 %) are the most frequently committed errors among the sampled pupils. In light of these findings, we recommend that teachers clarify acid-base concepts, consistently justify the selection of formulas, and strengthen pupils' mathematical skills to facilitate the calculation of the pH of electrolyte solutions.

Keywords : Errors, calculation, pH, electrolyte solutions, third-year, Science.

I. Introduction

Dans l'apprentissage des sciences, il ne faut pas considérer les erreurs de calcul comme de simples maladroites d'exécution. Elles peuvent également traduire des difficultés à comprendre les concepts, à choisir les démarches appropriées ou à mobiliser les connaissances mathématiques indispensables. Leur analyse constitue ainsi un levier pour identifier les obstacles à l'apprentissage et proposer une remédiation adaptée [1]. Lorsque la notion d'erreur est appliquée au calcul du pH des solutions d'électrolytes, il ne suffit pas de se contenter uniquement du résultat, mais plutôt d'analyser comment l'élève a procédé lors de calcul.

La revue des travaux présentée par la référence [2] montre que les difficultés d'apprentissage des équilibres acido-basiques ne se limitent pas aux opérations numériques. Elles concernent également la dissociation et l'ionisation, les définitions des acides et des bases, les équilibres ioniques, la neutralisation et la compréhension du pH.

Dans le contexte de Bunia en Ituri, en mars 2023, nous avons identifié des erreurs dans l'équilibrage des réactions redox chez les élèves de deuxième Science. Nous avons trouvé huit erreurs dont les plus fréquentes étaient le calcul erroné d'étage d'oxydation, la confusion entre d'oxydant et de réducteur et la difficulté de bien écrire les demi-équations d'oxydation de la réduction. Mais aussi, il y a encore des notions de base de chimie qui continuent à poser problème chez les élèves, entre autre le calcul de pH, la détermination de la géométrie moléculaire, les dosages oxydo-reductimétriques, etc. [3].

Etant donné que le calcul du pH des solutions d'électrolytes implique aussi bien un raisonnement chimique que de traitement mathématique, la bonne maîtrise de cette notion constitue une ressource importante pour comprendre les phénomènes acido-basiques, articuler les connaissances mathématiques et chimiques et développer la résolution de problèmes. Associée à des activités expérimentales, elle permet de mettre en relation les prévisions théoriques et les mesures réalisées au laboratoire. Son intérêt dépasse ainsi l'application de formules : elle participe à la formation d'un élève capable de mobiliser ses acquis dans des situations scientifiques significatives, conformément aux orientations du programme national [4], [5].

En menant une descente sur terrain auprès de 9 élèves de l'option Science des écoles de Bunia (Institut de Nyakasanza, Institut Salema 1 et Institut Sukisa), tous (100 %) nous ont renseigné que le calcul de pH n'est facile à réaliser que si vous savez identifier la nature d'électrolytes en présence et faire un choix judicieux de la formule. Quatre autres (soit 44 %) nous ont déclaré que la maîtrise des opérations mathématiques comme le calcul de logarithme et le calcul des exponentiels sont aussi nécessaires pour arriver à bien effectuer le calcul le pH. C'est pourquoi nous nous sommes posés la question de savoir quelles sont les erreurs commises par les élèves de 3^e année de l'option Science des écoles de Bunia lors du calcul de pH des solutions d'électrolytes. Mais aussi, lesquelles seraient plus fréquentes et comment faire pour y remédier.

Les réponses de ces neuf élèves pendant la pré-enquête, nous font croire que les erreurs commises par les élèves échantillonnés sont la confusion entre les acides, les bases et les sels, la négligence des équilibres chimiques, les erreurs mathématiques, le manque d'attention aux unités, le mauvais choix de la formule à utiliser lors de calcul de pH des solutions d'électrolytes et la mauvaise utilisation des outils de calcul dont la calculatrice, les tables logarithmiques.

L'objectif général de cette recherche est d'identifier les erreurs commises par les élèves de 3^e année de l'option Science des écoles de Bunia lors de calcul de pH des solutions d'électrolytes, d'analyser la distribution des erreurs identifiées pour dégager des pistes de remédiation. S'agissant des objectifs spécifiques, il sera question de relever systématiquement les catégories erreurs commises par les élèves, de déterminer leurs fréquences, de les éprouver au moyen d'un test statistique et enfin et de proposer quelques recommandations pour réduire sensiblement ces erreurs.

II. Matériel et méthodes

II.1. Population et échantillon d'étude

La ville de Bunia est à 1265 mètres d'altitude entre 30.2522400° de Longitude Est et entre 1.5594100° de Latitude Nord, en la province de l'Ituri, au Nord-Est de la République Démocratique du Congo [6]. Cette étude a concerné les écoles de Bunia qui organisent les classes de 3^e année de l'option Science.

D'après le rapport synthèse des relevés statistiques des écoles du pool secondaire de Bunia pour l'année scolaire 2025-2026, la Sous-Division Urbaine de Bunia a enregistré 59 écoles organisant l'option Science réparties comme suit : 2 écoles non conventionnées, 8 écoles conventionnées protestantes (CECA20, 80° AIC et 11° CAC), 4 écoles conventionnées catholiques, 2 écoles conventionnées kimbanguistes et 43 écoles privées agréées. Parmi ces écoles, 44 seulement ont effectivement organisé les classes de 3^e année Science, ce qui nous a donné un effectif total de 727 élèves inscrits pour l'année scolaire 2025-2026 [7].

Notre population d'étude étant finie, la taille de l'échantillon a été déterminée grâce à la formule de Kothari formule $n = \frac{z^2 pq N}{e^2 (N-1) + z^2 pq}$ avec $q=1-p$ [8]. Ainsi, pour cette population $N=727$ individus, la taille de l'échantillon après arrondissement a donné 252 élèves partant d'une proportion estimée $p=0,5$; un niveau de confiance de 95 % ($z=1,96$) et une marge d'erreur $e=0,05$.

C'est par l'échantillonnage aléatoire simple que les 252 échantillons ont été tirés et répartis dans 12 classes comme l'indique le tableau 1 ci-après.

Tableau 1. Répartition des élèves échantillonnés par école organisant la 3^e année Science

N°	Ecoles	Régime de gestion	Effectif
1	Institut Ujio wa Heri	Ecole conventionnée catholique	35
2	Institut Kabukura	Ecole conventionnée kimbanguiste	18
3	Institut Sukisa	Ecole conventionnée protestante (CECA20)	10
4	Institut Yambi-Yaya	Ecole conventionnée protestante (11° CAC)	27
5	Institut Tchanda	Ecole conventionnée protestante (CECA20)	23
6	IDAP-ISP/BUNIA	Ecole privée agréée	44
7	C.S. Boniface	Ecole privée agréée	7
8	CS. Anuarite de Bunia	Ecole privée agréée	8
9	C.S. Nelson Mandela	Ecole privée agréée	27
10	C.S. de Bunia	Ecole non conventionnée	25
11	C.S. Shalom	Ecole privée agréée	22
12	C.S. Le Sommet du savoir	Ecole privée agréée	6
TOTAL			252

Sur les 252 élèves, le tableau 1 nous montre que l'IDAP-ISP/BUNIA et l'Institut UJIO WA HERI ont enregistré aléatoirement plus d'échantillons que les autres écoles, soit 44 et 35 échantillons.

II.2. Méthode

La détermination des erreurs commises par les élèves de 3^e Science de Bunia dans le calcul du pH des solutions d'électrolytes adopte une démarche descriptive à visée diagnostique qui consiste à identifier et à caractériser les erreurs commises par les élèves échantillonnés. Le traitement des données collectées auprès des élèves ciblés a été fait par la méthode statistique pour la vérification de l'hypothèse de départ.

II.3. Collecte des données

La collecte des données s'est effectuée sur base de la passation d'un test diagnostique écrit, composé de trois problèmes pour lesquels les élèves étaient appelés à calculer le pH des solutions d'électrolytes acides, basiques et salines. Les productions obtenues de la résolution des problèmes ont été analysées à l'aide d'une grille permettant de catégoriser des erreurs éventuelles.

Chaque erreur commise par un élève lors de calcul de pH a été enregistrée une seule fois même si elle pouvait se répéter dans la résolution de deux autres problèmes. La présence d'un type d'erreur était codifiée par le chiffre un (1) tandis que son absence par le chiffre zéro (0). Ainsi, chaque élève était appelé à calculer le pH des solutions d'électrolytes en suivant toutes les étapes : relever les données en précisant la nature d'électrolyte, identifier le(s) inconnue(s), noter la formule à utiliser correspondant à la nature de l'électrolyte et enfin résoudre le problème jusqu'à donner la valeur finale obtenue.

Pour collecter les données, nous avons fait approuver le document de recherche par l'Autorité urbaine de l'éducation nationale et de la nouvelle citoyenneté. Puis, nous sommes passés chez l'Inspecteur chef de Pool du secondaire de Bunia pour obtenir les données statistiques de toutes les écoles organisant l'option Science en ville de Bunia ainsi que les effectifs des classes de 3^e année. Enfin, passer dans les 12 écoles échantillonnées pour faire passer le test du 09 au 16 mars 2026, soit six jours selon les horaires de chaque école concernée par l'étude.

Lors de la correction de test, nous étions plus intéressés par les réponses incorrectes fournies par les enquêtés. En effet, c'est en analysant les démarches suivies par les élèves que nous avons pu identifier les erreurs qu'ils ont commises lors du calcul de pH des solutions d'électrolyses.

II.4. Technique de traitement statistique des données

L'indice de pourcentage et le test statistique Q de Cochran ont été mis en contribution pour comparer plusieurs proportions binaires mesurées chez les mêmes échantillons. Calculé à partir des codages individuels des élèves, la valeur de test Q résume les écarts entre les proportions en tenant compte de leur caractère apparié.

La formule du test de $Q = \frac{(k-1) \left[k \sum_{j=1}^k C_j^2 - T^2 \right]}{kT - \sum_{i=1}^N R_i^2}$ [9].

Avec : k le nombre de catégories,

C_j l'effectif de la catégorie j,

T la somme des présences d'erreurs de toutes les catégories,

R_i le nombre de catégories d'erreurs observées chez l'élève i,

k-1 comme degré de liberté.

L'usage du logiciel Excel et Python s'est avéré indispensable.

III. Résultats

III.1. De la distribution d'erreurs commises par école

Tableau 2. Distribution d'erreurs commises par les élèves par école

Établissement	Élèves	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Institut Ujio wa Heri	35	22	19	25	14	24	8
Institut Kabukura	18	13	9	15	12	15	9
Institut Sukisa	10	6	6	7	6	7	3
Institut Yambi-Yaya	27	20	13	12	13	22	10
Institut Tchanda	23	15	10	14	10	19	9
IDAP-ISP/Bunia	44	19	30	26	18	24	6
C.S. Boniface	7	3	5	5	7	4	5
C.S. Anuarite de Bunia	8	6	6	5	6	6	5
C.S. Nelson Mandela	27	20	16	21	20	23	15
C.S. de Bunia	25	15	13	10	16	21	8
C.S. Shalom	22	17	18	14	13	17	11
C.S. Le Sommet du savoir	6	5	5	4	4	6	3
Total	252	161	150	158	139	188	92

Il se dégage de ce tableau que les erreurs sont réparties différemment d'une école à une autre. Comme on peut constater qu'au C.S. de Bunia, le mauvais choix de la formule concerne 21 élèves sur 25 (soit 84 %) pendant qu'à l'IDAP-ISP/Bunia, la négligence des équilibres chimiques est enregistrée chez 30 des 44 élèves (soit 68,18 %). Malgré cela, les résultats de ce tableau ne prouvent pas que les écoles soient la cause de ces erreurs, car ces différences restent descriptives. Il faut noter également que les effectifs des classes sont très dispersés et varient de 6 à 44 élèves.

Légende : CS = Complexe scolaire, IDAP-ISP/Bunia = Institut d'Application de l'ISP-Bunia ; C1, C2, C3, C4, C5 et C6 sont les codes des catégories d'erreurs identifiées.

III.2. De la catégorisation d'erreurs et pourcentage de présence d'erreur

Tableau 3. Catégories d'erreurs commises par les élèves échantillonnés lors de calcul de pH des solutions aqueuses

Code	Catégorie d'erreurs commises par les élèves	Effectif échantillon	Présence d'erreur	Absence d'erreur	Pourcentage d'erreur
C1	Confusion entre les acides, les bases et les sels	252	161	91	63,89 %
C2	Négligence des équilibres chimiques	252	150	102	59,52 %
C3	Erreurs mathématiques	252	158	94	62,70 %
C4	Manque d'attention aux unités	252	139	113	55,16 %
C5	Erreur du choix de la formule de pH	252	188	64	74,60 %
C6	Mauvaise utilisation des outils de calcul	252	92	160	36,51 %

Le tableau 3 révèle que le mauvais choix de la formule concerne près de trois quarts d'élèves (soit 74,60 %). Ensuite vient la confusion entre acides, bases et sels ainsi que les erreurs mathématiques, qui enregistrent respectivement 63,89 % et 62,70 %. Bien qu'elle soit identifiée chez 36,51 % d'élèves, la mauvaise utilisation des outils de calcul est l'erreur la moins fréquente.

III.3. Du calcul du test Q de Cochran pour la comparaison globale de six fréquences

Partant des données individuelles des élèves échantillonnés, nous avons obtenu les résultats suivants : $k=6$, $T=888$, R_i , $\sum_{i=1}^{252} R_i^2 = 22(1^2)+43(2^2)+49(3^2)+74(4^2)+47(5^2)+17(6^2)=3606$ et $\sum_{j=1}^k C_j^2 = 161^2+150^2+158^2+139^2+188^2+92^2=136514$.

$$Q = \frac{(5-1)[6(136514)-888^2]}{6(888)-3606} = 88,676. \text{ D'où le test } Q(5)=88,68 ; p=1,27 \times 10^{-17} < 0,001.$$

Le test Q de Cochran a mis en évidence une différence statistiquement significative entre les proportions des six catégories d'erreurs relevées chez les élèves, $Q(5)=88,68$, $p=1,27 \times 10^{-17} < 0,001$. L'hypothèse nulle d'égalité des proportions est donc rejetée au seuil de 5 %. Ce résultat indique qu'au moins deux catégories d'erreurs présentent des fréquences différentes.

IV. Discussions

Eu égard les résultats d'enquête réalisée, les erreurs sont inégalement réparties dans les écoles dont les effectifs des classes sont aussi très dispersés et varient de 6 à 44 élèves. Au C.S. de Bunia, c'est le mauvais choix de la formule qui l'emporte avec 21/25 élèves, à l'IDAP-ISP/Bunia, c'est plutôt la négligence des équilibres chimiques avec 30/44 élèves, au CS. Le Sommet du savoir et à l'Institut Yambi-Yaya c'est l'erreur dans le choix de la formule qui surclasse les autres catégories d'erreurs respectivement avec 6/6 élèves et 22/27 élèves ciblés par l'étude.

Ces observations se rapprocheraient des résultats de la référence [10]. En effet, l'auteur avait identifié auprès de seize élèves du secondaire des difficultés à comprendre et à expliquer le pH, la neutralisation, la force des acides et des bases ainsi qu'à relier ces concepts aux solutions réelles. Pour cet auteur, l'enseignant a une part de responsabilité dans les erreurs constatées chez les élèves à cause de sa tendance à se focaliser plus sur la résolution numérique sans mettre l'accent sur la compréhension des phénomènes chimiques. Nous pensons que la difficulté à choisir la formule correcte pourrait également provenir de la compréhension insuffisante de la réaction chimique qui se passe, mais aussi une difficulté de rétention de ces formules pendant les enseignements.

Le tableau 3 révèle que le mauvais choix de la formule concerne près de trois quarts d'élèves (soit 74,60 %). Ensuite vient la confusion entre acides, bases et sels ainsi que les erreurs mathématiques, qui enregistrent respectivement 63,89 % et 62,70 %. Bien qu'elle soit identifiée chez 36,51 % d'élèves, la mauvaise utilisation des outils de calcul est l'erreur la moins fréquente.

La fréquence élevée du mauvais choix de la formule de pH peut être proche des observations de la référence [11]. Ledit auteur avait relevé une subdivision des connaissances ainsi que des difficultés liées aux symboles, aux formules mathématiques et à la compréhension du contexte des problèmes acido-basiques, ce qui réduirait la capacité des apprenants à choisir de formules adaptées. Par ailleurs, la confusion manifestée par 63,89 % des élèves entre acides, bases et sels, pourrait nous ramener au niveau de compréhension des concepts qui précède le calcul de pH des solutions d'électrolytes comme s'était déjà souligné dans la référence [10].

Pour les auteurs [12], il faut que les enseignants puissent envisager de mécanismes qui prennent en compte l'association de l'apprentissage des logarithmes à leur application dans la résolution des problèmes acido-basiques. Dans notre étude, cette situation s'est traduite par la présence des erreurs mathématiques chez 62,70 % des élèves.

Le test Q de Cochran a mis en évidence une différence statistiquement significative entre les proportions des six catégories d'erreurs relevées chez les élèves, $Q(5)=88,68$, $p=1,27 \times 10^{-17} < 0,001$. L'hypothèse nulle d'égalité des proportions est donc rejetée au seuil de 5 %. Ce résultat indique qu'au moins deux catégories d'erreurs présentent des fréquences différentes.

La différence statistiquement manifeste mise en évidence par le test Q de Cochran indique que les six catégories d'erreurs ne présentent pas toutes la même fréquence chez les élèves. Cette interprétation correspond au principe du test de comparaison des proportions appariées expliqué dans la référence [9]. Le rejet de l'hypothèse nulle permet de conclure qu'au moins deux proportions diffèrent sans toutefois établir que toutes les catégories se distinguent les unes des autres.

V. Conclusion

Cette étude a porté sur les erreurs commises lors de calcul de pH des solutions d'électrolytes par les élèves de 3^e année de l'option Science des écoles de Bunia. Collectées au moyen d'un questionnaire auprès d'un échantillon de 252 élèves de 12 écoles ciblées par l'étude, les données ont été analysées puis traitées statistiquement par le test Q de Cochran.

Comme résultats, les erreurs identifiées lors de calcul de pH sont le mauvais choix de la formule de pH, la confusion la nature des électrolytes (acides, bases et sels), les erreurs mathématiques, la négligence des équilibres chimiques et la mauvaise utilisation des outils de calcul. En plus, le calcul de test Q de Cochran a révélé une différence statistiquement significative entre les fréquences de ces six catégories d'erreurs identifiées chez les élèves en étude, soit $Q(5)=88,68$. Avec la proportion $p=1,27 \times 10^{-17} < 0,001$, l'hypothèse nulle d'égalité des proportions est donc rejetée au seuil de 5 % ; ce qui montre qu'au moins deux catégories d'erreurs présentent des différentes fréquences.

Ces résultats confirment ainsi notre hypothèse au sujet des erreurs des apprenants en l'étude. Il s'agit de : le mauvais choix de la formule de pH, la confusion la nature des électrolytes (acides, bases et sels), les erreurs mathématiques, la négligence des équilibres chimiques et la mauvaise utilisation des outils de calcul. Les erreurs qui ont plus émergé sont le mauvais choix de la formule de pH, la confusion la nature des électrolytes et les erreurs mathématiques bien que les proportions des autres catégories d'erreurs ne sont pas négligeables.

En somme, pour éviter la persistance des erreurs chez les apprenants, nous recommandons aux enseignants d'améliorer les stratégies d'enseignement qu'ils utilisent habituellement. Ils doivent mettre en place une remédiation différenciée qui s'articule sur la clarification des concepts acido-basiques, toujours justifier le choix d'une relation avant son utilisation pour résoudre un problème donné, renforcer les prérequis mathématiques en collaborant étroitement avec son collègue enseignant de cette discipline et procéder régulièrement au contrôle des unités et des opérations. Enfin, il faudra toujours se servir des résolutions fausses comme supports d'apprentissage.

Références

- [1] Astolfi J.-P. (1997). *L'erreur, un outil pour enseigner*. Paris, ESF. In: *Didaskalia*, n°13, 1998. Didactique et formation professionnelle. pp. 165-167. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/didas_1250-0739_1998_num_13_1_1061_t1_0165_0000_1 (Consulté le 07 mai 2026).
- [2] Gültepe, N. (2021). Pre-service chemistry teachers' understanding about equilibria in acid-base solutions. *Pedagogical Research*, 6(4), Article em0110. DOI : 10.29333/pr/11349.
- [3] Kamuhanda B. et Mimilyabo S. (2023). Erreurs commises dans l'équilibration des réactions d'oxydo-réduction par les élèves de 2^e année des humanités scientifiques de Bunia en République Démocratique du Congo, *International Journal of Innovation and Applied Studies* ISSN 2028-9324, vol. 39, n° 1, pp. 80-86. Disponible sur <http://www.ijias.issr-journals.org/> (Consulté le 07 mai 2026).
- [4] MEPST. (2021). *Programme éducatif du domaine d'apprentissage des sciences : Classe de 3^e année des humanités scientifiques. Sous-domaine d'apprentissage : Sciences physiques et technologies de l'information et de la communication, 1^{ère} édition*, Direction des programmes scolaires et matériel didactique, Kinshasa, 171p.
- [5] MEPST. (2021). *Guide en appui au programme éducatif du domaine d'apprentissage des sciences : Classe de 3^e année des humanités scientifiques. Sous-domaine d'apprentissage : Sciences physiques et technologies de l'information et de la communication, 1^{ère} édition*, Direction des programmes scolaires et matériel didactique, Kinshasa, 38p.
- [6] Alphonse A. (2026). *Les coordonnées géographiques de Bunia, RD Congo*. Disponible sur <http://dateandtime.info/fr/citycoordinates.php?id=217695> (Consulté le 09 mai 2026).
- [7] Inspection principale provinciale de l'Ituril, Pool secondaire de Bunia (2026). *Rapport n° 52.301/SRV/A8.11/038/2026*, année scolaire 2025-2026 (Consulté le 21 mars 2026).
- [8] Kothari, C. R. (2004). *Research methodology : Methods and techniques* (2nd rev. ed.). New Age International.
- [9] NCSS, LLC. (s. d.). *Cochran's Q test* (chap. 521). Dans *NCSS statistical software documentation*. [Online] Available : https://www.ncss.com/wp-content/themes/ncss/pdf/Procedures/NCSS/Cochrans_Q_Test.pdf (Consulté le 29 mai 2026).
- [10] Sheppard, K. (2006). High school students' understanding of titrations and related acid-base phenomena. *Chemistry Education Research and Practice*, 7(1), 32–45. DOI : 10.1039/B5RP90014J (Consulté le 21 juillet 2026).
- [11] Muchtar, Z., & Harizal. (2012). Analyzing of students' misconceptions on acid-base chemistry at senior high schools in Medan. *Journal of Education and Practice*, 3(15), 65–74. (Consulté le 01 avril 2026).
- [12] Wang, J., & Kenny, E. (2025). Logs for acid-base chemistry : Illustrating the potential of multidisciplinary learning support interventions from the third space. *Journal of Learning Development in Higher Education*, (33). DOI : 10.47408/jldhe.vi33.1244. [Online] Available : <https://eprints.qut.edu.au/266194/1/1244.pdf>.

Annexe : Grille d'analyse des réponses des élèves sur le calcul de pH

Etablissement :

Date :

Classe :

Code de l'élève :

Étape de résolution	Critères de réussite	Indicateurs observables d'erreur
1. relever les données	L'élève relève correctement les grandeurs utiles : concentration, volume, masse, constantes d'équilibre et température, lorsque ces données sont nécessaires.	Omission de donnée importante ; valeur mal recopiée ; confusion entre masse, quantité de matière et concentration ; unité incorrecte ; mauvaise conversion.
2. Préciser la nature de l'électrolyte	L'élève identifie un acide, une base ou un sel ; distingue, dans la mesure du possible, le caractère fort ou faible et les espèces responsables du comportement acido-basique.	Confusion entre acide, base et sel ; confusion entre électrolyte fort et faible ; confondre les types de sel.
3. relever la ou les inconnues	L'élève indique le pH demandé, les grandeurs intermédiaires : $[H_3O^+]$, $[OH^-]$, pOH, concentration après dilution, etc.	Inconnue mal relevée ou absente ; mauvais calcul d'une grandeur ; confusion entre pH et pOH ou entre pH et concentration.
4. Choisir la formule de pH à utiliser	L'élève choisit une formule compatible avec les espèces présentes, leur comportement acido-basique et les conditions de l'exercice.	La formule choisie ne se rapporte pas à la solution d'électrolytes du problème ; confusion entre K_a et K_b ; approximation non justifiée ; oubli d'une étape de dilution ou de réaction préalable.
5. Effectuer le calcul de pH partant de la formule retenue	L'élève respecte la stœchiométrie, remplace les symboles par les valeurs exactes, fait correctement les opérations mathématiques.	Rapport stœchiométrique incorrect ; substitution erronée ; erreur de signe, de logarithme, de puissance de dix, de racine carrée ou de transformation algébrique.
7. Utiliser les outils de calcul (calculateur ou logiciel)	L'élève fait un bon encodage des nombres et réalise correctement les opérations dans la calculatrice ou un autre outil autorisé.	Mauvaise saisie de la notation scientifique ; parenthèses manquantes ; utilisation de $\ln$ à la place de logarithme à base 10 ; erreur dans l'ordre des opérations.
8. Ecrire la réponse finale et procéder à la vérification de réponses	L'élève donne la valeur finale de pH obtenu, respecte la règle d'arrondissement indiquée, vérifie si sa réponse correspond à la nature de l'électrolyte.	Réponse finale absente ; unité attribuée au pH ; mauvais arrondissement ; contradiction manifeste non discutée entre la valeur obtenue et le caractère prévu de la solution.