

Etat Des Lieux Des Laboratoires Des SVT Des CRMEF Au Maroc : Matériel, Sécurité Et Gestion Des Déchets

**Zineb Elaimouri¹, Zahra Zerrouqi², Jamila Abderbi³, Lamyae Nkhili⁴,
Chaimae El Bakkal⁵, Kaoutar Achahbar⁶**

¹Académie Régionale de l'Education et de la Formation de Rabat-Salé-Kénitra, Maroc

^{2,3}Centre Régional des Métiers de l'Éducation et de la Formation de l'Oriental, Maroc

^{4,5,6}Académie Régionale de l'Education et de la Formation de l'Oriental, Maroc

Abstract

Life and Earth Sciences (LES) education relies heavily on laboratory-based experimental approaches. In Morocco, Regional Centers for Education and Training (CRMEF) are responsible for training future LES teachers, yet the quality and safety of their laboratory facilities remain uneven and often inadequate. This study assesses the current state of LES laboratories in Moroccan CRMEFs, focusing on three key areas : the availability and condition of equipment, safety measures, and laboratory waste management. Data were collected through a survey targeting teacher trainers and laboratory assistants across various regions. The results highlight major shortcomings in specialized equipment (e.g., sensors, ExAO systems, measuring instruments), significant gaps in compliance with safety standards (ventilation, fire extinguishers, chemical labeling), and poor waste management practices. Based on these findings, the study offers actionable recommendations to improve the quality, safety, and pedagogical efficiency of laboratory-based science teacher training in Morocco.

Résumé

L'enseignement des sciences de la vie et de la Terre (SVT) repose sur une approche expérimentale qui mobilise fortement les laboratoires comme espaces d'apprentissage et de formation. Dans le contexte marocain, les Centres Régionaux des Métiers de l'Éducation et de la Formation (CRMEF) sont chargés de la formation initiale des enseignants de SVT. Toutefois, la qualité des laboratoires dans ces centres demeure inégale, voire insuffisante. Cette étude vise à dresser un état des lieux des laboratoires de SVT au sein des CRMEF du Maroc, en se focalisant sur trois axes principaux : la disponibilité des équipements, les mesures de sécurité, et la gestion des déchets de laboratoire. Une enquête par questionnaire a été menée auprès des formateurs et préparateurs de laboratoire de plusieurs CRMEF du Maroc. Les résultats révèlent des insuffisances notables dans l'équipement spécialisé (capteurs, dispositifs ExAO, instruments de mesure), des lacunes dans la conformité aux normes de sécurité (ventilation, extincteurs, étiquetage chimique) et une gestion des déchets souvent non conformes aux bonnes pratiques. L'étude propose des recommandations concrètes pour renforcer la qualité de la formation expérimentale et sécurisée des enseignants des SVT au Maroc.

Mots-clés : Laboratoire - SVT- CRMEF - équipements - sécurité - déchets

Keywords: Laboratory - SVT- CRMEF - equipment - safety - waste

1. INTRODUCTION

L'enseignement des sciences de la Vie et de la Terre (SVT) repose largement sur l'expérimentation et les manipulations réalisées au laboratoire. Ces pratiques favorisent à la fois la compréhension des concepts scientifiques ainsi que le développement de compétences pratiques. Elles permettent notamment aux enseignants en formation d'acquérir des savoir-faire essentiels à une transmission rigoureuse et efficace des connaissances. Le laboratoire scientifique, en tant qu'environnement d'apprentissage unique, joue un rôle central et distinctif. Il permet aux étudiants de développer leur compréhension des concepts scientifiques, leurs compétences en investigation scientifique, leur perception de la science, de nouer des relations sociales collaboratives et d'adopter une attitude positive envers la science (Gunstone, 1991 ; Lazarowitz et Tamir, 1994 ; Lunetta, 1998).

De nombreux travaux ont mis en évidence un lien direct entre les faibles performances des élèves en SVT et les conditions matérielles dégradées des laboratoires scolaires. Le manque d'équipements, l'absence de maintenance ou encore le non-respect des normes de sécurité sont autant de facteurs limitant l'efficacité de l'enseignement expérimental (El Allaoui et al., 2016 ; Sassi et al., 2018). Ces constats soulignent l'urgence de repenser non seulement les conditions d'enseignement dans les établissements scolaires, mais aussi les dispositifs de formation initiale des enseignants, en particulier dans les laboratoires des Centres Régionaux des Métiers de l'Éducation et de la Formation (CRMEF), où la maîtrise des démarches expérimentales devrait constituer un axe prioritaire. Cette situation est d'autant plus préoccupante que les performances des élèves marocains en sciences restent inférieures aux standards internationaux. En effet, les évaluations PISA (OECD, 2019 ; 2023) et les rapports du Conseil Supérieur de l'Éducation (CSE, 2015 ; 2016) montrent des résultats globalement faibles, révélant une difficulté des apprenants à mobiliser leurs acquis dans des contextes nouveaux. Ces données interrogent directement la qualité de l'enseignement expérimental, qui reste tributaire de l'état et du bon fonctionnement des laboratoires.

Dans ce contexte, les laboratoires des CRMEF jouent un rôle central dans la formation des futurs enseignants des SVT au Maroc. L'environnement de laboratoire offre aux étudiants l'occasion d'observer des événements scientifiques, de favoriser la compréhension théorique et de développer des compétences d'investigation scientifique. Cependant, la qualité de ces laboratoires soulève de nombreuses préoccupations, notamment en ce qui concerne l'état des équipements, l'accessibilité aux ressources, le respect des normes de sécurité, ainsi que la gestion des déchets.

En outre, les risques présents dans les laboratoires sont multiples et incluent des dangers biologiques, chimiques et physiques. Par exemple, l'exposition à des agents pathogènes peut entraîner des infections ; l'utilisation de produits chimiques sans mesures de sécurité adéquates peut causer des brûlures ou des intoxications ; et certains équipements électriques ou tranchants peuvent provoquer des blessures. Pour chaque type de risque, des mesures de prévention spécifiques existent et doivent être rigoureusement appliquées (Belmokhtar, 2024).

Par conséquent, il devient impératif d'évaluer la capacité des laboratoires des SVT au sein des CRMEF à offrir un environnement de formation et de professionnalisation optimal. La question fondamentale est de déterminer dans quelle mesure ces installations sont équipées pour répondre aux exigences contemporaines en matière de sécurité, d'hygiène, de qualité des équipements et de conformité normative. Or, cet état de fait demeure incertain, ces structures étant confrontées à des défis structurels majeurs, notamment l'obsolescence des équipements, la rareté des ressources et l'insuffisance des dispositifs de

sécurité.

Partant de ce constat, la présente recherche a pour objet de dresser un état des lieux des laboratoires de Sciences de la Vie et de la Terre (SVT) relevant des Centres Régionaux des Métiers de l'Éducation et de la Formation (CRMEF) marocains. Notre investigation, centrée sur la disponibilité des équipements, les dispositifs de sécurité et la gestion des déchets, poursuit un double objectif : d'une part, identifier les forces et les limites intrinsèques à ces plateformes pédagogiques ; d'autre part, esquisser des pistes d'optimisation susceptibles d'en assurer la modernisation et la conformité aux normes en vigueur, garantissant ainsi un cadre d'expérimentation à la fois sûr et efficace.

2. Méthodologie de recherche

2.1. Échantillon de recherche

L'échantillon de recherche est constitué de formateurs de dix CRMEF répartis dans dix villes différentes du Maroc : Oujda, Errachidia, Meknès, Tanger, Tétouan, Rabat, Casablanca, El Jadida, Marrakech et Béni Mellal (Figure 1). La majorité des participants (70 %) disposent d'une expérience professionnelle de plus de 10 ans (Tableau 1). La proportion des jeunes formateurs ayant moins de 5 ans d'expérience est évaluée à 30 %.

Tableau 1 : Caractéristiques de l'échantillon de recherche

Caractéristiques		Pourcentage
Spécialité	SVT	40%
	Biologie et sciences de l'environnement	10%
	Géologie	10%
	Géologie et sa didactique	10%
	Préparateur de laboratoire	20%
	Biologie et géologie	10%
Ancienneté	0-5ans	30%
	6-10 ans	0%
	Plus de 10 ans	70%

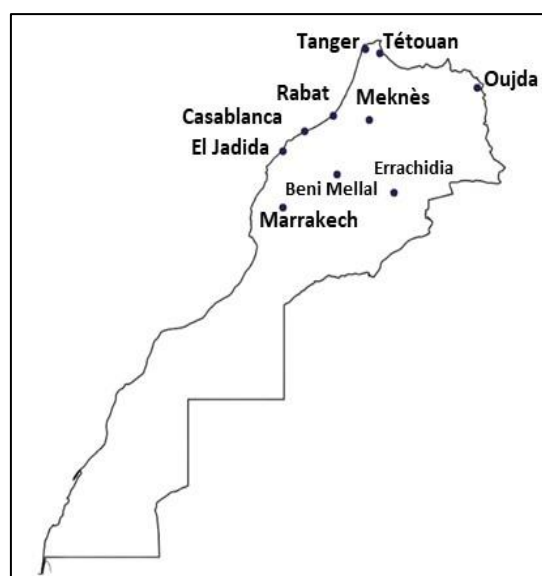


Figure 1. Répartition des laboratoires des CRMEF étudiés dans l'étude

2.2. Outil de recherche

Un questionnaire en ligne a été conçu sur la plateforme Google Forms pour recueillir des données sur l'état actuel des laboratoires des SVT au sein des CRMEF du Maroc. Les formateurs et les préparateurs de laboratoire ont été invités à répondre à un questionnaire composé de 23 questions fermées et ouvertes. Ce questionnaire vise à collecter des données précises sur divers aspects liés à l'état et au fonctionnement des laboratoires des SVT des CRMEF du Maroc. Il porte notamment sur les infrastructures existantes, les équipements disponibles, ainsi que sur les mesures de sécurité appliquées et les systèmes de gestion des déchets. Enfin, l'étude cherche à proposer des solutions concrètes et adaptées pour améliorer la qualité des laboratoires et, par conséquent, le niveau de la formation des futurs enseignants des SVT.

3. Résultats et discussion

3.1. Matériel et préparateur de laboratoire

3.1.1. Matériel de laboratoire

a. Disponibilité du matériel de laboratoire

Les effets positifs de laboratoires bien équipés sur le développement des compétences pratiques des étudiants et leur compréhension des concepts scientifiques ont été démontrés par plusieurs études (Sharma et Chauhan, 2017). De plus, les recherches systématiques établissent qu'un tel environnement améliore l'engagement des étudiants, leurs résultats et la qualité globale de l'enseignement (Hannah, 2018 ; Moolenaar, 2012). Ces bénéfices restent toutefois conditionnés à une maintenance rigoureuse des lieux : comme l'ont souligné Millar (2004) et Aikenhead (2006). Un laboratoire doit être non seulement correctement équipé mais aussi régulièrement entretenu pour garantir un enseignement scientifique à la fois efficace, sécurisé et motivant, sans quoi son potentiel pédagogique ne peut pleinement se réaliser. Concernant la disponibilité du matériel des laboratoires des CRMEF étudiés (Figure 2), l'analyse des résultats obtenus montre que certains matériels sont disponibles en quantité suffisante. En tête, les microscopes optiques sont présents en quantité suffisante dans 90 % des laboratoires étudiés, suivis par les loupes binoculaires et les lames et lamelles présents dans 80 % des CRMEF, témoignant de l'importance accordée à l'observation microscopique dans la formation initiale des enseignants des SVT. En effet, selon Hofstein et Mamlok-Naaman (2007), ces outils sont essentiels pour le développement de compétences expérimentales, car ils permettent une meilleure compréhension des phénomènes biologiques et géologiques à travers l'observation directe. En outre, le matériel de dissection est disponible dans 70 % des laboratoires, suivi par les microscopes polarisants, le papier filtre et les échantillons de roche avec un taux de 60%. La verrerie, les produits chimiques, les becs Bunsen, les cartes topographiques et les préparations microscopiques sont disponibles dans la moitié (50%) des centres de formation étudiés. La disponibilité suffisante du matériel de chromatographie sur papier et des spectromètres manuels concerne 40% des laboratoires. Pour les instruments de mesure et l'eau distillée, elle n'atteint que 30%. Ces résultats traduisent une hétérogénéité régionale importante et révèlent une fragilité dans la dotation des laboratoires, confirmée par des recherches antérieures (Benjelloun, 2020 ; Héran, 2019). De telles déficiences poussent souvent les formateurs et les enseignants stagiaires à recourir à des démonstrations théoriques ou à des activités simulées, ce qui réduit l'engagement et affaiblit la construction des compétences pratiques (Abrahams et Millar, 2008).

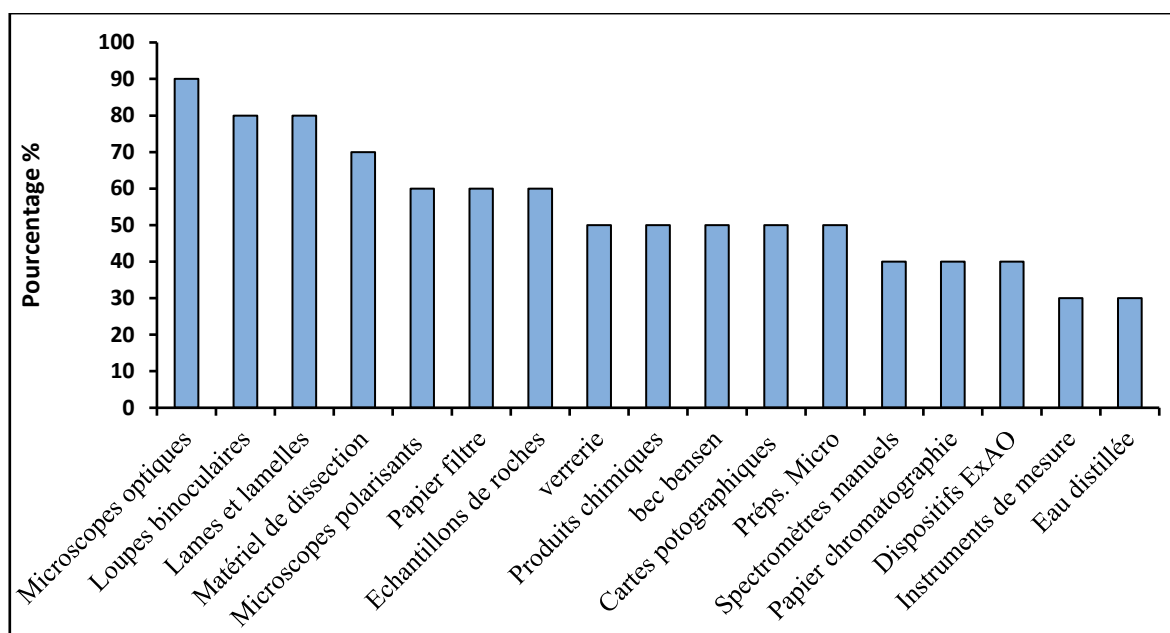


Figure 2. Disponibilité du matériel des laboratoires des SVT des CRMEF en quantité suffisante

L'ExAO (Expérimentation Assistée par Ordinateur) est un outil pédagogique clé permettant l'acquisition et l'analyse en temps réel des données expérimentales, facilitant ainsi l'apprentissage des sciences par une approche plus interactive et rigoureuse. Les résultats révèlent un accès limité au matériel d'ExAO, disponible dans seulement 40 % des laboratoires étudiés, ce qui entrave la construction des compétences numériques intégrées à la démarche scientifique. Cette disparité dans la dotation limite fortement les possibilités de l'expérimentation assistée par ordinateur, notamment en matière d'analyse des données en temps réel et d'interprétation directe des phénomènes scientifiques. Cela inclut des activités fondamentales telles que l'étude de la photosynthèse, la respiration cellulaire ou le développement végétal. Ces résultats concordent avec les travaux de Benguitoun et al. (2024), qui, dans une étude portant sur les laboratoires scolaires, soulignent que seulement 58,3 % des enseignants estiment que le matériel ExAO est disponible dans les établissements scolaires.

b. Entretien du matériel

Un entretien et une inspection réguliers des équipements constituent des mesures efficaces pour garantir l'efficacité des expériences et la sécurité du laboratoire. Un dysfonctionnement de l'équipement peut non seulement affecter la fiabilité des résultats expérimentaux et le déroulement des expériences, mais aussi présenter des risques pour la sécurité, menaçant les personnes et les biens présents dans le laboratoire (Hussein et al., 2017 ; Wyllie et al., 2016).

Les résultats sur l'entretien des équipements des laboratoires (Figure 3) révèlent que seuls 20 % des laboratoires bénéficient d'une maintenance régulière, tandis que 60 % n'en assurent aucune. Ces chiffres traduisent une déficience manifeste en matière de gestion technique des laboratoires, exposant le matériel à un risque accru d'usure prématurée, de pannes fréquentes, et donc à une réduction significative de leur efficacité pédagogique, et par conséquent d'indisponibilité. L'impact de cette déficience se fait directement ressentir dans le quotidien de la formation scientifique au sein des CRMEF : les expériences sont limitées dans leur déroulement, et les enseignants en formation sont privés d'une opportunité essentielle de formation pratique. Cette situation compromet l'acquisition des compétences expérimentales des enseignants stagiaires de la discipline des SVT. Ce constat est en totale opposition

avec les recommandations internationales. En effet, le manuel d'entretien et de maintenance des appareils de laboratoire publié par l'Organisation mondiale de la Santé (OMS, 2008) insiste sur l'importance cruciale de la maintenance préventive pour garantir la durabilité des équipements et la fiabilité des activités expérimentales. Une étude empirique menée par Amponsah-Tawiah et al. (2016) a montré que l'entretien régulier des équipements, l'étalonnage approprié et le respect des consignes de sécurité réduisaient considérablement la fréquence des accidents liés aux équipements.

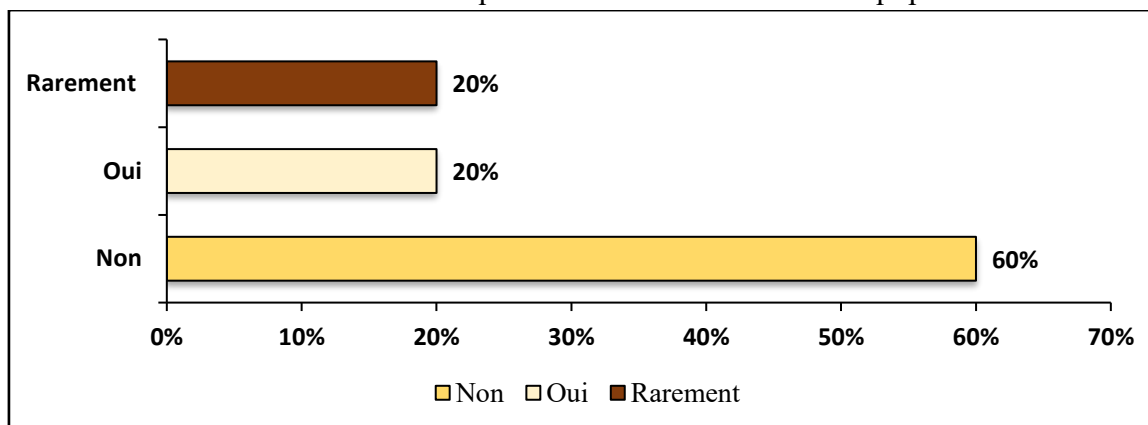


Figure 3. Entretien du matériel des laboratoires des SVT des CRMEF

Face à ce constat, il apparaît impératif d'instaurer un plan de maintenance régulier, adapté aux spécificités des équipements scientifiques, et piloté à l'échelle régionale ou nationale. Une telle initiative permettrait d'assurer la pérennité des investissements réalisés, de sécuriser les manipulations et d'améliorer durablement la qualité de la formation dans les laboratoires des CRMEF au Maroc.

3.1.2. Préparateur de laboratoire

Les préparateurs de laboratoires occupent une place plus large dans l'amélioration des acquisitions en sciences (Helliard et Harrison, 2011). Leur présence est nécessaire à l'efficacité des travaux pratiques réalisés par les enseignants. En effet, préparer l'appareillage indispensable aux manipulations prend du temps. Le rassemblement des appareils après les séances, leur vérification, leur rangement, tout cela représente un gros travail. De plus, les préparateurs entretiennent les laboratoires et s'occupent du matériel vivant (Lowe, 1986). Ils allègent ainsi la charge professorale tout en facilitant la conception de séquences pédagogiques diversifiées et engageantes. Leur expertise opérationnelle consolide les dispositifs éducatifs en stimulant la motivation des enseignants stagiaires et en favorisant leur implication dans des démarches expérimentales pertinentes.

Certes, l'absence totale (0%) de préparateurs de laboratoire dans les CRMEF étudiés constitue une défaillance structurelle majeure, entravant considérablement la réalisation des travaux pratiques et aggravant les risques de sécurité déjà identifiés (équipements critiques manquants ou sous-dotés). Ce déficit critique en techniciens de laboratoire qualifiés a été déjà souligné par Chala (2019). Sans personnel technique qualifié, la maintenance des installations (ventilation, extincteurs), la gestion des produits dangereux et l'application des protocoles d'urgence reposent entièrement sur les formateurs, détournant ceux-ci de leur mission pédagogique et compromettant tant la sécurité des manipulations que la qualité des travaux pratiques. En outre, ce manque de personnel transforme les laboratoires en environnements à haut risque. Alors que les CRMEF forment annuellement des préparateurs de laboratoire depuis 2021 – tous affectés aux établissements scolaires – ses propres laboratoires, notamment des SVT, en sont

systématiquement exclus. Une affectation prioritaire d'au moins un préparateur aux laboratoires de SVT des CRMEF par les académies apparaît nécessaire.

3.2.Sécurité dans les laboratoires

Une culture de sécurité des laboratoires repose sur les habitudes de travail individuelles et le sens du travail collectif (Coştu et al., 2010). La sécurité au travail en laboratoire scolaire comprend également des procédures et des règles établies visant à protéger le personnel du laboratoire contre les blessures, à prévenir les dommages matériels et les pertes, et à assurer un environnement de travail sûr (Ali, 2013). L'étude de Stallings et al. (2001) a montré qu'une formation à la sécurité dispensée aux enseignants, incluant l'utilisation des fiches de données de sécurité, contribuerait à réduire les risques chimiques en laboratoire.

3.2.1. Equipements de ventilation et de conservation

Des systèmes de ventilation efficaces, tels que des hottes aspirantes bien entretenues, sont essentiels pour contrôler les fumées dangereuses (Le et al., 2019). Elle est indispensable pour limiter l'exposition à des substances dangereuses. Les normes internationales, telles que l'ISO 14644-3 (2015), recommandent d'adapter les systèmes de ventilation au type de produits manipulés, afin d'éviter toute accumulation de gaz ou de composés volatils potentiellement nocifs. Les résultats de cette étude ont révélé que seulement 20 % des laboratoires étudiés disposent d'un système de ventilation mécanique ce qui constitue un facteur de risque majeur en matière de sécurité. Bien que la plupart de ces laboratoires disposent de fenêtres, celles-ci ne permettent pas à elles seules d'assurer un renouvellement d'air suffisant, notamment en présence de vapeurs toxiques issues de certains produits chimiques.

Par ailleurs, la conservation et le stockage sécurisés des produits chimiques et biologiques sensibles nécessitent impérativement une réfrigération, comme le souligne l'Organisation mondiale de la Santé (WHO, 2017). Le non-respect de cette condition expose les utilisateurs à des risques sanitaires et peut entraîner une perte d'efficacité ou une dangerosité accrue des produits mal conservés. Cependant, seuls 30 % des laboratoires étudiés disposent d'un réfrigérateur dédié à des produits chimiques ou du matériel frais. Cette disponibilité très limitée de réfrigérateurs dans les laboratoires soulève d'autres enjeux de sécurité. En effet, l'absence de dispositifs de conservation réfrigérée expose les produits chimiques et biologiques à des températures ambiantes inadaptées, favorisant leur dégradation. Certains composés organiques volatils, enzymes ou réactifs chimiques deviennent instables sans réfrigération, ce qui peut entraîner la formation de substances dangereuses. De même, pour le matériel biologique, cette situation favorise la fermentation, la contamination microbienne et l'altération des échantillons sensibles. Ainsi, il devient impératif que les CRMEF mettent en place des protocoles de stockage adaptés, incluant des équipements de réfrigération fiables, et une ventilation conforme aux normes, afin de garantir un environnement de travail sécurisé et conforme aux exigences pédagogiques de l'enseignement expérimental.

3.2.2. Equipement de sécurité

Un environnement de travail sécurisé repose sur des mesures préventives appropriées, incluant la disponibilité d'équipements de protection, des plans d'évacuation d'urgence, et un affichage clair des consignes de sécurité. L'étude de Choudhry et al. (2013) souligne par ailleurs que l'insuffisance de ces dispositifs augmente significativement la probabilité d'accidents graves et engage la responsabilité juridique des établissements.

Les dangers et risques potentiels pour la sécurité des laboratoires sont de plus en plus importants, et des accidents de laboratoire surviennent régulièrement (Zheng et Du, 2023).

La plupart des accidents et blessures survenus en laboratoire sont causés par la verrerie brisée (Gerlovich et al., 2001), et l'exposition à des produits chimiques (Elbayoumi, 2020 ; Kan, 2007). Ils impliquent des brûlures dues à la manipulation d'objets chauds et au contact avec des produits chimiques corrosifs (Gerlovich et al., 1998 ; Ward et West, 1990). Par ailleurs, en raison de l'utilisation abusive de produits chimiques, les enseignants sont confrontés à de nombreux problèmes de santé, tels que l'irritation oculaire, les maux de tête, les vertiges, les nausées et les troubles respiratoires (Collins et al., 2013 ; Reisen et Brown, 2009).

L'étude réalisée révèle une insuffisance notable en matière d'équipements de sécurité dans les laboratoires du CRMEF du Maroc, ce qui indique un manque potentiel de préparation aux situations d'urgence. En effet, l'absence totale des systèmes d'évacuation d'urgence dans les centres étudiés (Figure 4) compromet directement la sécurité des utilisateurs lors de situations critiques telles qu'un incendie, une fuite de gaz ou une contamination chimique. La norme ISO 45001 (2018) insiste sur l'obligation d'instaurer des voies d'évacuation claires, visibles et accessibles pour tous les occupants, ainsi que sur l'existence de procédures d'urgence bien définies. L'absence ou la défaillance de ces dispositifs dans les laboratoires des CRMEF remet en question la conformité des laboratoires aux standards de sécurité internationaux. Par ailleurs, l'absence d'extincteurs dans plus de 70% des laboratoires étudiés constitue une menace sérieuse, en particulier en cas de départ de feu, où la rapidité d'intervention est cruciale pour limiter les dégâts humains et matériels. Cette insuffisance va à l'encontre des recommandations de base en gestion des risques, comme le soulignent Hasan et al. (2020).

Les dangers cachés dans les laboratoires peuvent être classés dans les catégories suivantes :

- Risques physiques : Ces risques incluent les températures élevées ou basses (Murata et al., 2019); haute pression ou vide (Murata et al., 2019); électrocution (Gordon et Martinez, 2018); blessure mécanique (Simmons et al., 2017).
- Risques chimiques : Ces dangers connexes comprennent les substances inflammables et pyrophoriques (Rim, 2017) ; réactifs toxiques (Moline et al., 2000) ; substances corrosives (Lunn et Strober, 2008 ; Masterson et Bleay, 2021) ; allergènes (Boverhof et al., 2008 ; Pemberton et al., 2024).
- Risques biologiques : tels que les microbes (Coelho et García Díez, 2015 ; Manheim et Lewis, 2021) et les allergènes macromoléculaires (Korpi et al., 2007, Jones, 2015).

L'équipement de protection individuelle (EPI) fait référence à la gamme de vêtements et d'équipements spécialisés conçus pour minimiser l'exposition aux blessures graves sur le lieu de travail et aux risques pour la santé (Ayi et Hon, 2018 ; Buller et al., 2015 ; Ferjencik et Jalovy, 2010). Les EPI comprennent divers articles tels que des lunettes de sécurité, des écrans faciaux, des casques de sécurité, des respirateurs, des gants, des harnais de sécurité, des bouchons d'oreilles et des vêtements de haute visibilité. Leur disponibilité est primordiale pour créer une culture de sécurité au sein des laboratoires éducatifs, servant non seulement de barrière contre les dangers mais aussi de rappel constant de l'importance de la sécurité. En cas d'incident de sécurité, les EPI constituent le principal bouclier protecteur pour éviter les blessures du personnel de laboratoire ou pour en atténuer la gravité (Hartog, 2010).

Cette étude a mis en évidence l'indisponibilité des lunettes de protection dans 60 % et des gants dans 40% des laboratoires étudiés, exposant les utilisateurs formateurs et enseignants stagiaires à un risque élevé de blessures oculaires. En effet, en cas de projections accidentelles de produits chimiques ou biologiques, les

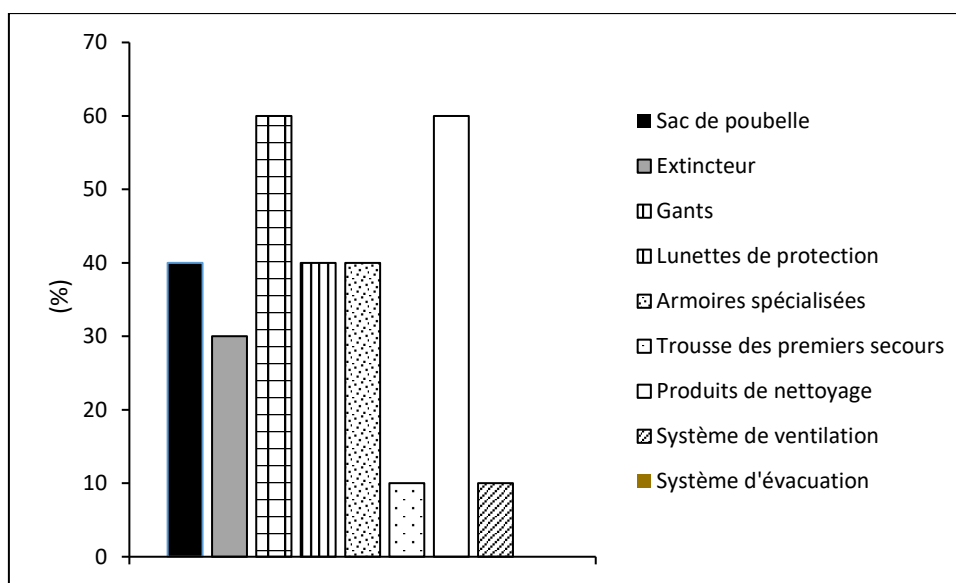


Figure 4. Disponibilité des équipements et matériel de sécurité

yeux deviennent une cible particulièrement vulnérable. Cette carence traduit un non-respect des normes minimales de sécurité en laboratoire, comme l'ont montré Geller et al. (2012), qui insistent sur le rôle central des équipements de protection individuelle dans la prévention des accidents. Les équipements de protection individuelle (EPI) et les dispositifs de sécurité spécialisés sont essentiels à la protection du personnel de laboratoire. Des études démontrent qu'une utilisation appropriée des EPI, notamment des gants, des blouses et des lunettes de sécurité, réduit considérablement le risque de blessures et d'exposition aux produits chimiques (Azadeh et al., 2017).

Une étude empirique menée par Choung et al. (2017) a examiné l'efficacité des équipements de sécurité, notamment les blouses, les gants et les lunettes de protection, pour protéger le personnel de laboratoire contre l'exposition aux produits chimiques. Les résultats ont montré que l'utilisation d'équipements de sécurité appropriés réduisait considérablement le risque d'exposition aux produits chimiques et les problèmes de santé associés.

En outre, les trousse de premiers secours (10%) sont gravement sous-dotés, exposant les utilisateurs à des risques vitaux en cas d'incident. Par ailleurs, les sacs poubelle dédiés (40%) restent insuffisants pour assurer une protection individuelle et une gestion sécurisée des déchets. Seuls les produits de nettoyage (64%) affichent une disponibilité relativement acceptable, bien que perfectible.

Ainsi, les résultats de cette étude mettent en évidence l'urgence d'une mise à niveau des équipements de sécurité dans les laboratoires des SVT aux CRMEF du Maroc. Il est impératif d'aligner les pratiques locales sur les standards internationaux afin de garantir un environnement de formation conforme aux standards de protection des enseignants stagiaires et du personnel.

3.2.3. Pictogrammes réglementaires

Les pictogrammes de sécurité sont essentiels pour alerter les utilisateurs des risques potentiels associés aux produits chimiques et pour leur fournir des informations sur les précautions à prendre pour une manipulation sécurisée. Selon l'ONU (2021), l'étiquetage par pictogrammes est obligatoire pour tout produit chimique, afin de prévenir les accidents et de garantir une manipulation sécurisée. Le non-respect de cette obligation contrevient aux exigences de la norme ISO 45001 (2018) relative à la sécurité au travail, et selon Kwon et al. (2021), il s'agit d'un facteur aggravant dans la survenue d'incidents chimiques. La

présence de pictogrammes de sécurité sur les produits chimiques est une obligation réglementaire selon le règlement CLP (Classification, Labelling and Packaging) de l'Union européenne (CE 1272/2008).

Comme indiqué par Smith (2017) et Doyle (2020), une culture de sécurité globale, qui comprend des mises à jour régulières des manuels de sécurité et un étiquetage approprié des produits chimiques dangereux, est essentielle pour améliorer la sécurité des laboratoires.

Les résultats de l'étude montrent que 56 % des laboratoires ne disposent pas des pictogrammes de sécurité requis sur les produits chimiques, ce qui peut entraîner des risques pour le personnel. L'absence de pictogrammes de danger, pourtant normalisés par le Système Général Harmonisé (SGH), représente un risque majeur pour la santé et la sécurité des utilisateurs. En l'absence de ces symboles visuels, il devient difficile, voire impossible, d'identifier rapidement les dangers associés à chaque produit. Cela expose les utilisateurs à des manipulations inappropriées, à des expositions accidentelles et à des réactions potentiellement dangereuses (OSHA, 2012). Cette situation compromet également les procédures d'urgence : en cas d'accident, l'absence d'étiquetage complique l'identification du produit impliqué, ralentit les mesures d'intervention et augmente les risques de complications.

3.2.4. Stockage des bouteilles de gaz inflammable

Le stockage inadéquat des bouteilles de gaz inflammables observé dans 60% des laboratoires étudiés représente une défaillance majeure dans la gestion des risques chimiques. Les pratiques actuelles ne respectent pas les recommandations de la National Fire Protection Association (NFPA, 2019), qui stipulent que ces bouteilles doivent être entreposées dans des armoires ventilées, éloignées de toute source de chaleur ou d'étincelle. Un mauvais stockage de ces substances peut entraîner des fuites, des explosions, ou des intoxications graves, mettant en danger l'intégrité physique des utilisateurs et l'ensemble de l'environnement de travail. Une formation spécifique en sécurité de laboratoire destinée aux formateurs, enseignants stagiaires et préparateurs serait cruciale. Elle garantirait une manipulation en toute sécurité des produits chimiques et biologiques, tout en renforçant les compétences dans la maîtrise des procédures sécuritaires et des bonnes pratiques.

3.3. Gestion des déchets

Les laboratoires produisent des quantités de déchets, allant des matières et produits chimiques dangereux et toxiques aux matières à risque biologique, en passant par des quantités de déchets ordinaires et inoffensifs. La production de déchets de laboratoire contribue à un réseau complexe de défis environnementaux majeurs et constitue une menace majeure pour la santé publique, en particulier lorsqu'elle n'est pas correctement gérée. Des contaminants tels que les produits chimiques provenant des laboratoires peuvent s'infiltrer dans les sols et les cours d'eau, entraînant des effets à long terme sur les écosystèmes et les populations humaines (Bretzel et Calderisi, 2011 ; Anetor et al., 2022).

3.3.1. Tri des déchets

Le tri des déchets implique la séparation systématique des différents types de déchets au point de production. Un tri efficace garantit le traitement et l'élimination appropriés des matières dangereuses, réduisant ainsi l'impact environnemental et améliorant la sécurité. Le tri constitue une étape essentielle pour limiter la pollution, réduire les impacts sanitaires et amorcer une gestion rationnelle des déchets dans les milieux scientifiques. C'est une étape essentielle dans la gestion responsable des laboratoires des SVT. Il permet non seulement de limiter les risques de contamination et d'exposition accidentelle à des substances dangereuses, mais aussi de favoriser un traitement adapté selon la nature des déchets produits.

(chimiques, biologiques, verrerie, papiers, plastiques, etc.). Le respect des procédures de tri facilite la valorisation des déchets recyclables et réduit l'impact environnemental. Un tri rigoureux, associé à un étiquetage clair et à l'utilisation de contenants spécifiques, contribue significativement à la sécurité du personnel et à la conformité aux normes environnementales.

L'analyse des données (Figure 5) révèle que la majorité des laboratoires étudiés (88 %) ne procède pas systématiquement au tri des déchets. Cette situation soulève des enjeux majeurs en matière de santé, de sécurité et de durabilité environnementale. Elle met en évidence un déficit important de formation et de sensibilisation des acteurs éducatifs aux bonnes pratiques de gestion des déchets, notamment chimiques, biologiques ou électroniques.

Mettre à disposition des conteneurs codés par couleur ou étiquetés selon la typologie des déchets est une mesure simple, peu coûteuse, mais cruciale. Elle permet non seulement de sécuriser les pratiques de laboratoire, mais aussi d'instaurer une culture de responsabilité environnementale chez les futurs enseignants de SVT.

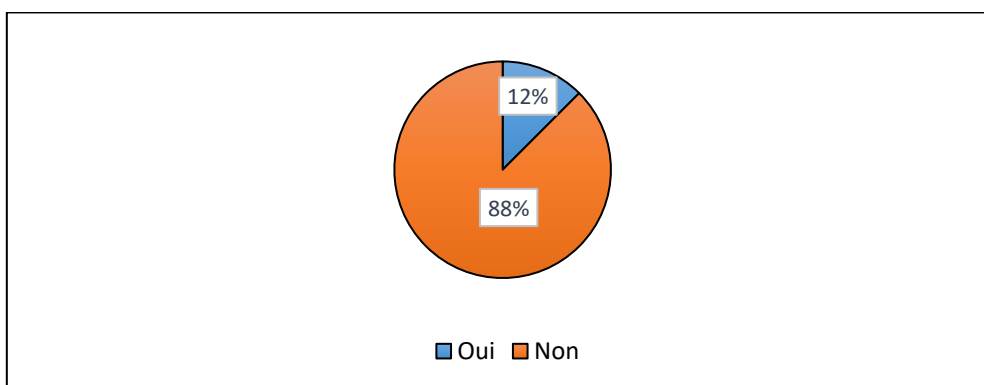


Figure 5. Fréquence du tri des déchets en laboratoire

La disponibilité de conteneurs spécifiques constitue un élément fondamental pour la mise en œuvre d'un tri des déchets efficace et sécurisé. Pourtant, les résultats (Figure 6) révèlent un déficit alarmant, avec 75 % des laboratoires ne disposant pas de conteneurs adaptés à la nature des déchets produits. Cette carence entrave les efforts de gestion durable des déchets et expose les utilisateurs, notamment les enseignants en formation, à des risques accrus liés aux produits chimiques ou biologiques mal stockés. L'absence de dispositifs de collecte différenciée (par type de déchet : chimique, biologique, recyclable, non recyclable) ne permet ni un tri efficace ni une élimination conforme aux standards de sécurité. Une telle situation freine également l'adoption de pratiques écoresponsables au sein des centres de formation.

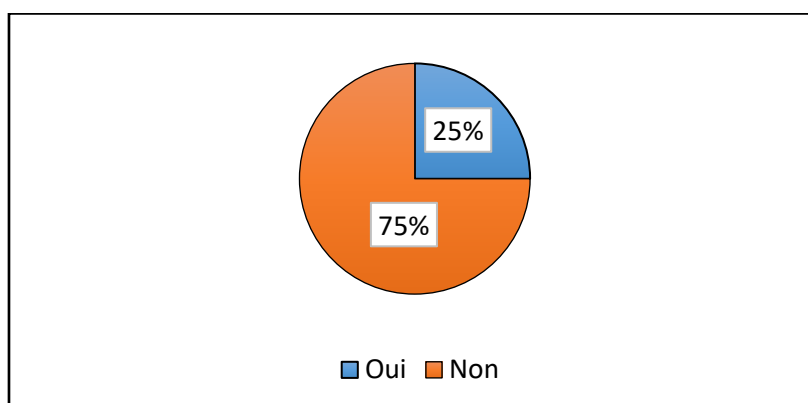


Figure 6. Disponibilité des conteneurs pour le tri des déchets

3.3.2. Elimination des déchets

Les données de la Figure 7 mettent en lumière des pratiques préoccupantes en matière d'élimination des déchets chimiques au sein des CRMEF. Dans 80% des laboratoires étudiés, ces produits sont encore déversés dans les réseaux d'égouts, tandis qu'une minorité (20%) dispose de zones spécifiques de rejet, sans pour autant garantir le respect des normes environnementales et sanitaires.

L'élimination non contrôlée des déchets chimiques, notamment via les systèmes d'évacuation municipaux, représente une menace grave pour l'environnement. Elle entraîne une contamination des eaux souterraines et des sols, affectant potentiellement la biodiversité et la santé humaine. L'Organisation mondiale de la santé (WHO, 2017) rappelle que le rejet de substances chimiques toxiques dans les réseaux d'eaux usées peut avoir des effets irréversibles sur les écosystèmes aquatiques, et favoriser l'accumulation de polluants dans la chaîne alimentaire. En effet, les produits chimiques dangereux, notamment les métaux toxiques tels que le plomb (Pb), le cadmium (Cd), l'arsenic (As) et le mercure (Hg), peuvent perturber la biodiversité locale et ont été impliqués dans de nombreuses maladies redoutées comme les troubles du développement, le cancer, les lésions hépatiques et rénales ainsi que les anomalies de la reproduction (Anetor et al., 2016). Les déchets biologiques peuvent abriter des agents pathogènes qui menacent la santé communautaire (Twagirayezu et al., 2023). De plus, l'émission de composés organiques volatils et d'autres polluants peut aggraver les problèmes de qualité de l'air, impactant davantage la santé respiratoire humaine.

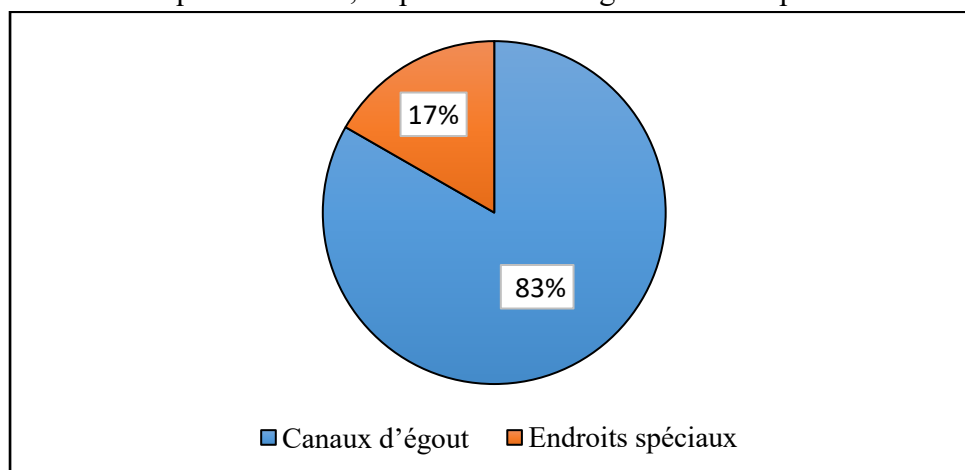


Figure 7. Mode d'élimination des déchets chimiques

4. Conclusion

L'état des lieux des laboratoires de SVT au sein des CRMEF du Maroc révèle une situation contrastée, marquée par des efforts partiels mais insuffisants pour garantir une formation expérimentale de qualité et sécurisée. En effet, si certains équipements de base tels que les microscopes et les outils d'observation sont relativement disponibles, d'importants manques persistent en matière de matériel spécialisé, d'outils numériques (ExAO), et de dispositifs de sécurité.

L'étude met également en évidence une absence généralisée de procédures de maintenance, une gestion déficiente des déchets, ainsi qu'un non-respect des normes de sécurité et d'étiquetage chimique. Ces déficiences nuisent à l'efficacité pédagogique, à la protection des utilisateurs, et à la conformité environnementale des établissements.

Il apparaît ainsi nécessaire d'adopter une approche systémique et équitable, visant à renforcer l'équipement des laboratoires en ressources modernes et fonctionnelles ; Instaurer des protocoles de sécurité et de maintenance rigoureux ; et Intégrer une gestion durable des déchets dans les pratiques

éducatives.

Ces améliorations, à la fois matérielles, humaines et organisationnelles, sont indispensables pour garantir un environnement de formation sécurisé, performant, et aligné avec les standards actuels de l'enseignement scientifique. Elles constituent un levier fondamental pour améliorer la qualité de la formation initiale des enseignants des SVT au Maroc et, par extension, celle des apprentissages des élèves dans le système éducatif national.

Références

1. Abrahams, I., Millar, R. (2008). Does practical work really work ? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education*, 30(14), 1945-1969.
2. Aikenhead, G. (2006). *Science Education for Everyday Life: Evidence-based Practice*. Teachers College Press.
3. Ali, R. (2013). Concepts of laboratory safety for school teachers in Algeria. *Jordan J Educ. Sci.*, 3, 255-261.
4. Amponsah-Tawiah, K., Sutherland, J., Ampofo-Boateng, K. (2016). Accident Prevention in University Chemistry Laboratories: The Case of Ghana. *Journal of Chemical Health and Safety*, 23, 26-33.
5. Anetor, G. O. (2016). Waste dumps in local communities in developing countries and hidden danger to health. *Perspectives in public health*, 136(4), 245-251.
6. Anetor, G. O., Nwobi, N. L., Igharo, G. O., Sonuga, O. O., Anetor, J. I. (2022). Environmental pollutants and oxidative stress in terrestrial and aquatic organisms: examination of the total picture and implications for human health. *Frontiers in Physiology*, 13, 931386.
7. Ayi, H.R.; Hon, C.Y. (2018). Safety culture and safety compliance in academic laboratories: A Canadian perspective. *J. Chem. Health Saf.*, 25, 6-12.
8. Azadeh, A., Saadatpour, M., Mehrabi, A. (2017). Evaluating Personal Protective Equipment Usage in Chemical Laboratories Using Discrete-Event Simulation. *Safety Science*, 99, 44-54.
9. Belmokhtar, S. (2024). Analyse des laboratoires scolaires et leur impact sur l'enseignement des SVT : état des lieux et recommandations. Éditions Universitaires Marocaines.
10. Benguitoun, M., Ferhat, N., Zerrouqi, Z., Bouabdallah, I. (2024). État des lieux des laboratoires des Sciences de la Vie et de la Terre au cycle secondaire (Région orientale du Maroc) : Disponibilité, usabilité du matériel didactique et sécurité. *European Scientific Journal*, ESJ, 20(19), 110-125.
11. Benjelloun, M. (2020). État des laboratoires de sciences dans les établissements secondaires au Maroc. *Revue Marocaine de Pédagogie Scientifique*.
12. Boverhof, D.R., Billington, R., Gollapudi, B.B., Hotchkiss, J.A., Krieger, S.M., Poole, A., Wiescinski, C.M., Woolhiser, M.R. (2008). Respiratory sensitization and allergy: Current research approaches and needs. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 226, 1-13.
13. Bretzel, F.C.; Calderisi, M. (2011). Contribution of a municipal solid waste incinerator to the trace metals in the surrounding soil. *Environ. Monit. Assess.*, 182, 523-533.
14. Buller, M.J., Tharion, W.J., Duhamel, C.M., Yokota, M. (2015). Real-time core body temperature estimation from heart rate for first responders wearing different levels of personal protective equipment. *Ergonomics*, 58, 1830-1841.
15. Chala, A. A. (2019). Practice and challenges facing practical work implementation in natural science

- subjects at secondary schools. *Journal of Education and Practice*, 10 (31), 1-17.
16. Choudhry, R. M., Fang, D., Mohamed, S. (2013). The nature of safety culture : A survey of the state-of-the-art. *Safety Science*, 45(10), 993-1012.
17. Choung, R. S., Richard Locke, G., Schleck, C. D., Zinsmeister, A. R., Talley, N. J. (2017). Multiple Functional Gastrointestinal Disorders Linked to Gastroesophageal Reflux and Somatization: A Population - Based Study. *Neurogastroenterology & Motility*, 29, e13041.
18. Coelho, A.C.; García Díez, J. (2015). Biological risks and laboratory-acquired infections: A reality that cannot be ignored in health biotechnology. *Front. Bioeng. Biotechnol.*, 3, 56.
19. Collins, J. J., Bodner, K. M., Bus, J. S. (2013). Cancer mortality of workers exposed to styrene in the US reinforced plastics and composite industry. *Epidemiology*, 195-203.
20. Coştu, B., Ayas, A., Niaz M. (2010). Promoting conceptual change in first year students' understanding of evaporation. *Chem Educ Res Pract.* 11, 5-16.
21. CSE (Conseil Supérieur de l'Éducation). (2015). l'enquête internationale TIMSS : Résultats des élèves marocains en mathématiques et en sciences dans un contexte international. Conseil supérieur de l'éducation. Maroc.
22. CSE. (2016). Le programme national d'évaluation des acquis des élèves du tronc commun. Instance Nationale d'évaluation du Système d'éducation, de Formation et de Recherche Scientifique (INE), 7-22. Retrieved from <https://www.csefrs.ma/wp-content/uploads/2017/02/ResumeRapport-PNEA-2016-Final.pdf>
23. Doyle, O. (2020). COVID-19: Exacerbating Educational Inequalities. *Public Policy*, 9, 1-10.
24. El Allaoui A., Rhazi Filali F., El Hadri E., Fetteh K. & Bouhadi M. (2016). Etude évaluative d'examen normalisé de sciences de la vie et de la terre au cycle secondaire collégial. *European Scientific Journal*, 12(1), 283-299.
25. Elbayoumi, 2020. Professional Laboratory Safety Practice of Basic Science Teachers in Gaza Strip. *Israa University Journal of Applied Sciences*, V4,1.
26. Ferjencik, M.; Jalovy, Z. (2010). What can be learned from incidents in chemistry labs. *J. Loss Prevent Proc.*, 23, 630-636.
27. Geller, R. J., Braverman, L. E., Uppal, S. (2012). Chemical laboratory safety and the importance of protective equipment. *Journal of Chemical Health and Safety*, 19(3), 30-34.
28. Gerlovich, J. A., Wilson, E., Parsa, R. (1998). Safety issues and Iowa science teachers. *Journal of the Iowa Academy of Science : JIAS*, 105(4), 152-157.
29. Gordon, L.B.; Martinez, T.R. (2018). A Complete Electrical Risk Assessment Method for All Electrical Hazards and Its Application. In *Proceedings of the 2018 IEEE IAS Electrical Safety Workshop (ESW)*, Fort Worth, TX, USA, 19-23 March 2018; 1-8.
30. Gunstone, R. F. (1991). Reconstructing theory from practical experience. *Practical science*, 67-77.
31. Hannah, R. (2013). The Effect of Classroom Environment on Student Learning. *Honors Projects*, 2.
32. Hartog, E.A.D., (2010). Challenges in future personal protective equipment-an overview of developments in user needs. *Res. J. Text. Appar.* 2010, 14, 22-37.
33. Hasan, R., Imran, H., Khan, S. (2020). Fire safety preparedness in laboratories: A case study. *Journal of Safety Research*, 72, 150-157.
34. Helliard, A. T., Harrison, T. G. (2011). A wider role for technicians in science practical work with school students. *Acta Didactica Napocensia*, 4 (4), 1-10.

35. Helliard, A., Harrison, T. (2011). The role of school technicians in promoting science through practical work. *Acta Didactica Napocensia*, 4(2-3), 15-20.
36. Hérard, F. (2019). Le manque de ressources dans les laboratoires des lycées : Une entrave à la qualité de l'enseignement scientifique. *Études Pédagogiques*.
37. Hofstein, A., Mamlok-Naaman, R. (2007). The laboratory in science education: The state of the art. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(2), 105-107.
38. Hussein, F.H., Al-Dahhan, W.H., Al-Zuhairi, A.J., Rodda, K.E., Yousif, E. (2017). Maintenance and testing of fume cupboard. *Open J. Saf. Sci. Technol.*, 7, 69-75.
39. ISO 45001 (2018). Occupational Health and Safety Management Systems. International Organization for Standardization.
40. Jones, M. (2015). Maternal influences over offspring allergic responses. *Curr. Allergy Asthma. Rep.* 15, 1-8.
41. Kan, CW. (2007). Chemical safety management in Hong Kong. *J Chem Health Saf.*, 14,13-16.
42. Korpi, A., Lappalainen, S., Kaliste, E., Kalliokoski, P., Reijula, K., Pasanen, A.L. (2007). A multi-faceted approach to risk assessment of laboratory animal allergens at two facilities. *Am. J. Ind. Med.*, 50, 127-135.
43. Kwon, Y., Lee, J., Kim, H. (2021). Evaluation of hazard communication effectiveness in chemical laboratories. *Journal of Chemical Health and Safety*, 28(2), 24-31.
44. Lazarowitz, R., Tamir, P. (1994). Research on using laboratory instruction in science. *Handbook of research on science teaching and learning*, 94-130.
45. Le, HV., Ma, Y., Thew, MT., Yin, Y. (2019). Efficacité des hottes de laboratoire : Une critique. *Journal de la santé et de la sécurité chimiques*, 26,19-28.
46. Lowe, N. (1986). Tendances nouvelles dans le matériel scientifique scolaire, UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation, France.
47. Lunetta, V. N. (1998). The school science laboratory: Historical perspectives and contexts for contemporary teaching. *International handbook of science education*, 1, 249-262.
48. Lunn, G., Strober, W. (2008). General laboratory safety and working with hazardous chemicals. *Curr. Protoc. Essent. Lab. Tech.*, 1, A.1-A.12.
49. Mannheim, D., Lewis, G. (2021). High-risk human-caused pathogen exposure events from 1975–2016. *F1000Research*, 10, 752.
50. Masterson, A., Bleay, S. (2021). The effect of corrosive substances on fingerprint recovery: A pilot study. *Sci. Justice*, 61, 617-626.
51. Millar, R. (2004). The role of practical work in the teaching and learning of science. University of York, Department of Educational Studies.
52. Moline, J.M., Goldenet, A.L., Bar-Chama, N., Smith, E., Rauch, M.E., Chapin, R.E., Perreault, S.D., Schrader, S.M., Suk, W.A., Landrigan, P.J. (2000). Exposure to hazardous substances and male reproductive health: A research framework. *Environ. Health Perspect*, 108, 803-813.
53. Moolenaar, N. M. (2012). The Role of the Physical School Environment in Enhancing Learning Environments. *Research in the Schools*, 19, 41-47.
54. Murata, S., Tomita, K., Mishina, T., Hayashi, R., Nishikimi, T. (2019). Key points regarding safety education related to fire and/or explosion risk control in academic laboratories. *J. Environ. Safety*, 10, 59-65.

55. NFPA, National Fire Protection Association. (2019). NFPA 55: Compressed Gases and Cryogenic Fluids Code. Quincy, MA: National Fire Protection Association.
56. OECD (2019). Programme international pour le suivi des acquis des élèves (PISA). 2018 Results: What Students Know and Can Do, PISA, OECD Publishing, Paris. 35.
57. OECD (2023). PISA 2022 Results: Learning During – and From – Disruption, PISA, OECD Publishing, Paris.
58. OMS, (2008). Manuel d'entretien et de maintenance des appareils de laboratoire. Genève : OMS. https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/43991/9789242596359_fre.pdf
59. ONU, 2021. Système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques (SHG). Nations Unies, New York et Genève, 592p.
60. OSHA. (2012). Hazard Communication Standard: Labels and Pictograms. U.S. Department of Labor.
61. Pemberton, M.A., Arts, J.H., Kimber, I. (2024). Identification of true chemical respiratory allergens: Current status, limitations and recommendations. *Reg. Toxicol. Pharmacol.*, 147, 1-15.
62. Règlement (CE) n° 1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges.
63. Reisen, F., Brown, S. K. (2009). Australian firefighters' exposure to air toxics during bushfire burns of autumn 2005 and 2006. *Environment International*, 35(2), 342-352.
64. Rim, K.T. (2017). Reproductive toxic chemicals at work and efforts to protect workers' health: A literature review. *Saf. Health Work*, 8, 143-150.
65. Sassi, M., Chaibi, A., Bouderga, S., Lamgari, M., Latifi, M., Maadan, H., Elasmraoui, A., El Mahmoudi, N., Khalfouni, M., Eddarouich, S., Beabbou, A., EL Mahir, H., Konia, F., Hakkani, A. (2018). Le programme international pour le suivi des acquis des élèves (Une enquête qui mesure les performances des élèves de 15 ans dans les domaines de la lecture, des mathématiques et des sciences), Maroc.
66. Sharma, D. K., Chauhan, S. K. (2017). An Empirical Study of Safety Management Practices in Construction. *Safety Science*, 49, 528-542.
67. Simmons, H.E., Matos, B., Simpson, S.A. (2017). Analysis of injury data to improve safety and training. *J. Chem. Health Saf.*, 24, 21-28.
68. Smith, C. (2017). Improving School Lighting for Safety and Performance. *American School & University*, 90, 16-20.
69. Stallings, C., Gerlovich, J., Parsa, R. (2001). Science Safety: A Status Report in North Carolina Schools, *The Science Reflector*. 30 (3), 12, 17. North Carolina Science Teachers Association.
70. Twagirayezu, G., Huang, K., Xia, H. (2023). Effects of bio-contaminants in organic waste products on the soil environment. In *Fate of Biological Contaminants During Recycling of Organic Wastes* (187-212). Elsevier.
71. Ward, S., West, S. (1990). Accident in high school chemistry labs. *The Texas Science Teacher*, 19(2), 14-19.
72. WHO. (2017). Guidelines on Core Components of Infection Prevention and Control Programmes at the National and Acute Health Care Facility Level. Geneva: World Health Organization.
73. Wyllie, R., Lee, K., Morris-Benavides, S., Matos, B. (2016). What to expect when you're inspecting: A summary of academic laboratory inspection programs. *J. Chem. Health Saf.*, 23, 18-24.
74. Zheng, Q. J., Du, L. L. (2023). Comment on the Safety Education of Teaching Laboratory in Colleges and Universities. *China Modern Educational Equipment*, 26(05), 54-56.