

REVIEW ARTICLE



Total automation of medical biology laboratories

Hichem BENGHEZEL, Mounir SADELAOUD

Laboratoire d'Analyses médicales Sadelaoud Batna Algérie

ABSTRACT

This literature review provides a detailed examination of the preanalytical, analytical, and postanalytical tasks that can be automated within the operations of a medical biology laboratory. We conduct an in-depth analysis of the various components of automation, making precise distinctions between no automation, partial automation, and full automation. The objectives and expectations associated with full automation will be discussed, while identifying the limitations and challenges inherent in it. In conclusion, we present prospects for automation in this vital area of medicine, highlighting anticipated technological advances and emerging opportunities that will shape the future of laboratory practices.

ARTICLE HISTORY

Received 11 Dec 2023

Accepted 10 Feb 2024

KEYWORDS

Total automation, automation components, objectives, limitations, challenges

CORRESPONDING AUTHOR

Hichem BENGHEZEL

hichem.benghezal@gmail.com

1. INTRODUCTION

Les Réformes de la santé, les pénuries du personnel qualifié associée à une augmentation des demandes et du panel des tests avec des contraintes budgétaires de plus en plus importantes sont des facteurs qui obligent et obligeront les laboratoires cliniques à adopter des changements dans leur organisation, par l'intégration de l'automatisation totale.

Remontant aux années 50 l'automatisation était autrefois considérée comme un luxe pour les grands laboratoires cliniques ou de référence, son utilisation est devenue omniprésente dans l'environnement clinique d'aujourd'hui.

Actuellement, il serait rare de trouver un environnement de laboratoire qui ne repose pas sur une certaine forme d'automatisation, soit pendant la phase analytique et/ou lors des processus pré- ou post-analytiques. L'association de ces trois processus conduit au laboratoire totalement automatisé (*total laboratory automation* ou TLA).

Depuis 2018, tous les principaux fournisseurs de laboratoire offrent des solutions d'automatisation centralisées pour optimiser les flux de travail du laboratoire. De plus, de nombreux fournisseurs également permettent un accès ouvert et une flexibilité pour faciliter l'intégration de systèmes tiers sur leurs systèmes automatisés.

Deux processus sont associés à la TLA : consolidation et intégration. Ces deux processus améliorent la gestion du processus d'analyse, à savoir l'ensemble des étapes qui se succèdent de façon logique pour passer d'un prélèvement à un résultat.

L'intégration consiste à créer une liaison automatisée entre les différentes phases du processus analytique afin que le nombre d'interventions manuelles sur un échantillon soit faible. La consolidation consiste à intégrer le maximum de paramètres sur une même plate-forme ce qui permet de raccourcir le délai de réponse et le nombre de prélèvements (1).

2. Classification et Composants de l'automatisation de laboratoire

Bien qu'il n'existe pas de définition unique, l'automatisation des laboratoires est classée en fonction de la complexité de l'intégration des instruments, allant de l'absence d'automatisation (tous les analyseurs existant en tant que machines autonomes), à l'automatisation partielle du laboratoire avec le développement d'îlots où les analyseurs de laboratoire sont partiellement intégrés avec les analyses préanalytiques (par exemple uniquement la chimie clinique et l'immunodosage), jusqu'à la TLA où les automates par exemple de chimie clinique, d'immunochimie, d'hématologie et d'hémostase...etc sont physiquement intégrés sous forme de systèmes modulaires ou reliés par des chaînes de montage (2) (Figure 1).

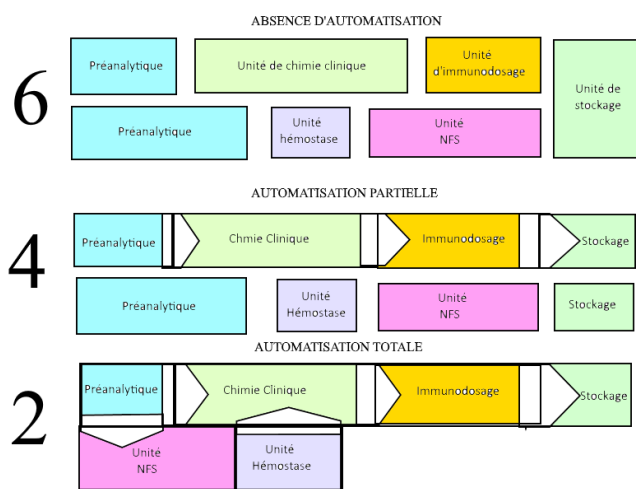


Figure 1. Les différents modèles de l'automatisation d'un laboratoire
Le nombre minimal du personnel (6 en cas d'absence d'automatisation, 4 pour l'automatisation partielle et 2 pour l'automatisation totale).

Il existe un certain nombre de considérations physiques et de composants associés aux systèmes TLA. Une condition préalable à l'automatisation centralisée est l'intégration des capacités des systèmes TLA à identifier les caractéristiques spécifiques à un échantillon à partir du code-barres. Ceci est atteint via une interface entre le logiciel de contrôle de processus au sein de la plate-forme d'automatisation et du système d'informatique du laboratoire.

Au fur et à mesure que les lecteurs de codes-barres scannent les échantillons placés sur une plate-forme automatisée, les informations spécifiques à la commande provenant du système

informatique du laboratoire (SIL) tel que le type de conteneur d'échantillons, les tests demandés, les volumes de tests et le nombre d'aliquotes seront utilisés par la plate-forme pour diriger le suivi des activités.

Il est important en cas de panne ou de service de maintenance que le logiciel de contrôle de processus soit suffisamment flexible pour masquer un module ou une partie de la plate-forme automatisée tout en poursuivant d'autres tâches. Les spécimens reçus de cette manière nécessitent un traitement manuel, y compris l'inscription des informations pertinentes dans le SIL ainsi que l'étiquetage des spécimens inscrits par le personnel du laboratoire.

1-1) Zone de chargement des échantillons

Dès leur réception au laboratoire, les échantillons à code-barres doivent être placés dans un support de transport pour faciliter les étapes de traitement ultérieures.

Les transporteurs de transport d'automatisation centralisée varient selon le fournisseur ils peuvent varier d'un port-échantillons simples, qui accueillent un échantillon à la fois, à des porteurs pouvant contenir plusieurs échantillons. Chaque plate-forme TLA nécessite un chargement (manuel ou automatisé) des échantillons dans un support pour faciliter les activités ultérieures sur le système et le mouvement à l'intérieur du système de voies.

La plupart des plates-formes d'automatisation offrent également deux zones de saisie pour prioriser le traitement d'échantillons urgents (3).

1-2) Lecteurs de code-barres

Les lecteurs de code-barres sont associés à la zone de chargement de l'échantillon afin que les informations spécifiques à l'échantillon puissent être dirigées du LIS vers le logiciel de contrôle de processus de la plate-forme d'automatisation.

Les plates-formes peuvent avoir plusieurs lecteurs de codes-barres pour un suivi régulier de l'échantillon ou un seul lecteur de code-barres, dans lequel l'échantillon est scanné une fois dans le module de chargement des échantillons.

La norme préférée de symbologie de code-barres utilisée dans l'automatisation intégrée est le code 128, qui est une symbologie à haute densité.

Plusieurs plates-formes TLA et systèmes LIS reconnaissent désormais les codes-barres 2 D ; toutefois, des lecteurs de codes-barres spécifiques sont nécessaires(4).

1-3) Voies de transport et de tri :

À l'aide d'un système de voies à convoyeur, les échantillons sont dirigés vers d'autres domaines. Les activités de suivi sont

pilotées par le logiciel de contrôle et les informations électroniques associées (codes-barres) avec le spécimen ou le transporteur. Certains fournisseurs utilisent des supports ou des racks pré-code-barres qui dirigeront les échantillons vers des modules spécifiques au sein de la plate-forme.

Cette flexibilité dans l'acheminement des échantillons facilite la gestion et la manipulation de plusieurs échantillons. La bidirectionnalité des voies dans la plate-forme, permet une amélioration de la capacité à automatiser les flux de travail de routine du laboratoire.

1-4) Centrifugation

Pour les échantillons nécessitant une centrifugation, les échantillons peuvent être acheminés au module centrifugation dans des centrifugeuses auto-équilibrées.

Le débit de la centrifugeuse est spécifique à la plate-forme et la capacité est influencée par la vitesse de centrifugation et sa durée. Le débit théorique des différentes plateformes préanalytiques varie de 300 à 600 spécimens par heure. Certains fournisseurs proposent des solutions pouvant accueillir plusieurs centrifugeuses au sein d'un système unique, augmentant et optimisant ainsi l'efficacité du laboratoire. Cependant, il est nécessaire de prendre en considération pour déterminer le nombre de centrifugeuses l'espace occupé.

1-5) Station de décapsulation

Les stations de décapsulation utilisent des bras robotisés pour le retrait des bouchons du tube primaire. Les bouchons sont ensuite éliminés dans un centre de stockage de déchets.

1-6) Station d'aliquotage

Suite au retrait des bouchons, les spécimens peuvent être acheminés dans une station d'aliquotage. Les volumes d'échantillons sont aspirés et sont transférés dans des conteneurs secondaires. Des imprimantes de codes à barres peuvent être associées à ce module.

Le logiciel de contrôle de processus de la plate-forme d'automatisation utilise les informations des tests et des commandes demandées pour déterminer les volumes de transfert vers le récipient secondaire. Des embouts jetables sont couramment utilisés pour prévenir la contamination croisée.

Les appareils d'aliquotage utilisés dans la plupart des plateformes d'automatisation préanalytique actuelles ont la capacité de détecter les caillots ; ceci est réalisé grâce à la détection de résistance accrue par une sonde lors de l'aspiration.

Par rapport aux flux de travail manuels, l'aliquotage automatisé est un élément essentiel qui joue un rôle important dans la réduction des erreurs de déversement associées à l'échantillon.

Le laboratoire peut choisir de contourner l'aliquotage des échantillons et faire une analyse directe pour optimiser l'efficacité et rationaliser le flux de travail.

Les besoins spécifiques de chaque laboratoire déterminent la configuration, y compris comment le module d'aliquotage peut s'intégrer dans le flux du travail.

1-7) Recapuchonnage

Si la destination d'un échantillon implique un acheminement direct vers un analyseur via le système de voie, le recapuchonnage peut ne pas être nécessaire. Cependant, si un échantillon est acheminé vers le système d'archivage des spécimens, un rebouchage étanche à l'air est souhaitable.

Pour les échantillons qui restent non bouchés, la stabilité due à l'exposition à la température ambiante ou à l'air doit également être évaluée.

1-8) Module de retrait

Il peut être nécessaire de retirer des échantillons sur des automates non liés à la plateforme d'analyse ce qui nécessite un acheminement vers une zone de retrait.

1-9) Vérifications de l'intégrité des échantillons

En raison de l'interférence endogène courante de l'hémoglobine, de la bilirubine et des triglycérides; la plupart des instruments pour évaluer la qualité d'un échantillon avant l'analyse.

Plusieurs fournisseurs ont intégré des contrôles d'intégrité des échantillons (basés sur l'opacité ou par l'utilisation d'une longueur d'onde spectrale spécifique) pendant la phase préanalytique permettant l'identification des échantillons qui peuvent être par exemple hémolysés.

1-10) Analyse par dilution

Pour les valeurs supérieures à la linéarité de la mesure; l'analyse par dilution peut être indiquée comme une action de suivie. L'automatisation de ce processus implique la dilution contrôlée par un instrument associé à un rétro calcul de la concentration de l'analyte. En effet, effectuer des dilutions en ligne peut réduire considérablement les erreurs analytiques et améliorer le flux de travail, car les échantillons n'ont pas besoin d'être récupérés et manipulés manuellement par le personnel.

1-11) Interface informatique

Bien que tous les systèmes comprennent commandes informatiques, il est impératif qu'il y ait une diaphonie entre la plate-forme TLA et le LIS. Le logiciel d'automatisation centralisée du laboratoire doit pouvoir s'interfacer avec les opérateurs d'instrument ainsi que les ordinateurs centraux et le LIS.

L'information est communiquée entre l'instrumentation et le LIS, soit directement, soit via un logiciel middleware qui comprend des informations sur l'état de chaque analyseur préanalytique ou analytique, le type d'échantillon, les données des patients et des informations relatives aux tests, résultats, ainsi que toutes règles de contrôle, y compris les répétitions ou les dilutions.

1-12) Module d'archivage des échantillons

Dans les flux de travail entièrement centralisé, l'automatisation du stockage des échantillons est essentielle. Les échantillons peuvent être dirigés vers le stockage à long terme. Les systèmes d'archivage des échantillons sont réfrigérés et peuvent accueillir de 3000 à 30 000 échantillons, Le retraits des échantillons sont effectués à l'aide de bras robotiques grâce au logiciel d'automatisation de laboratoire médié par le middleware avec le LIS. Les configurations intégrant une voie bidirectionnelle permettent l'identification et le retrait de l'échantillon et suivi du placement de l'échantillon dans un transporteur pour être acheminé pour d'éventuelles analyses. Bien les pistes bidirectionnelles occupent beaucoup plus d'espace elle permet une automatisation complète du flux de travail (3).Figure 2

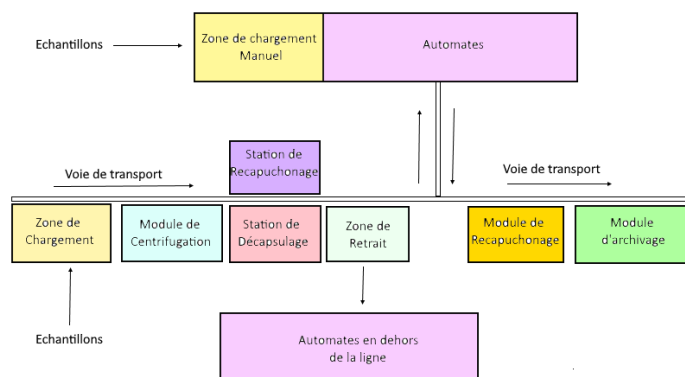


Figure 2. Représentation schématique des composants de l'automatisation d'un laboratoire.

3. Objectifs et attentes de la TLA

La sélection et la décision d'intégrer et de mettre en œuvre l'automatisation dans le laboratoire d'analyses médicales sont

en grande partie liées au besoin. Comme décrit par Hawker et ses collègues les attentes communes et les objectifs sont l'amélioration de l'efficacité du laboratoire.

Les objectifs préanalytiques comprennent : une réduction des étapes de tri requis avant le test ; une réduction du nombre de fois chaque échantillon est manipulé par le personnel (réduction des erreurs), ainsi que le nombre d'employés manipulant chaque spécimen ; une diminution du trafic du personnel dans laboratoire dans la gestion et la diffusion des échantillons.

Les objectifs analytiques comprennent la centralisation des tests de laboratoire et la réduction du nombre d'échantillons partagés entre les instruments ainsi que l'automatisation de la dilution des échantillons. L'automatisation du post-analytique permet l'intégration des résultats du laboratoire au système informatique de l'hôpital ainsi que l'amélioration de la capacité de stockage et de récupération des échantillons (5).

La mesure objective du succès de la TLA comprend la comparaison de l'intervalle de temps entre la réception de l'échantillon et la publication du résultat avant et après l'installation de la TLA, ainsi que l'impact de cette dernière sur la réduction des erreurs (6).

Il a été suggéré qu'une option TLA est un succès lorsqu'une durée moyenne de 60 minutes entre enregistrement et réception des résultats concerne 90% des résultats réalisés dans une journée.

De nombreuses publications indiquent un impact positif de la TLA sur le temps de délivrance d'un résultat des paramètres liés à l'urgence. De plus, des associations de médecins et de laboratoires ont fourni des recommandations concernant certains paramètres d'urgence comme par exemple le Collège américain de cardiologie / American Heart Association (AHS) et l'American Association Clinical chemistry Académie qui recommandent un temps maximum de 60 minutes pour la troponine (7).

Un rapport de cas d'un grand hôpital international à Rome en Italie (Tol Vergata) a démontré une amélioration des paramètres d'urgence après la mise en place de la TLA. Une comparaison pré et post-automatisation indique une amélioration de la rapidité d'exécution avec une moyenne de 27+/- 2,5 minutes pour la troponine (8).

En plus de nombreuses études indiquent des améliorations du temps de l'ensemble des autres paramètres allant de 30 % à 50 % suites à l'incorporation de la TLA .

Des rapports d'un certain nombre de laboratoires démontrent des élévations de 50 % à 75 % des volumes d'échantillons et des charges de travail après la mise en œuvre de l'automatisation. sans augmentation du nombre du personnel et des heures de

travail. Les laboratoires ont également constaté un retour sur investissement 3 à 7 ans après la mise en place de la TLA (5).

On pourrait ainsi suggérer un certain nombre d'avantages potentiels liés à l'acquisition de la TLA:

2.1) Réduire les coûts financiers à long terme

Plusieurs éléments de preuve attestent maintenant qu'un modèle efficace de TLA peut réduire avec succès les coûts du laboratoire.

L'avantage net (c'est-à-dire le retour d'investissement) est en effet plus appréciable à long terme. Elle se présente principalement par la réduction de la main-d'œuvre manuelle (en particulier personnel auxiliaire et technique) habituellement nécessaire pour gérer un volume élevé de tests, mais est également attribuable à des dépenses préanalytiques et postanalytiques plus faibles (achat de frigos et de congélateurs)

Cependant, le retour sur investissement est variable, selon la solution d'automatisation adoptée et le volume des tests effectués. En effet, plus le nombre de tests et de dossier est important (supérieur à 800 patients) plus le coût de l'avantage économique qui en résulte est important. Cet aspect peut alors permettre de suggérer l'adoption de différents modèles d'automatisation en fonction du volume et de la complexité des tests(9).

2.2) Diminution de la congestion dans le laboratoire

La diminution du personnel (en gardant un volume de dossier identique) après la mise en œuvre de TLA produirait également moins de congestion dans le laboratoire. En effet, un agencement optimisé des postes de travail éviterait aux techniciens de faire des allers et venues d'un analyseur à l'autre, minimisant ainsi la distance parcourue par le personnel pour effectuer de multiples analyses sur différents automates (9).

2.3) Amélioration du débit et du panel des tests

Plusieurs études démontrent qu'un TLA bien conçu peut être efficace pour réduire délai d'exécution et augmentent simultanément la productivité du laboratoire et le débit (10–14).

Les chaînes de montage moderne peuvent transporter un grand nombre de tubes à une grande vitesse (3000 à 18 000 tubes par heure à une vitesse de 20 à 120 mètres/s) (15).

Il est également à noter par l'étude de Yeo et Ng que la charge de travail d'un laboratoire peut être considérablement augmenté après la mise en œuvre de la TLA, et qu'un tel volume accru de tests peut également s'accompagner d'un élargissement notable des répertoires de tests (16).

2.4) Amélioration de la gestion des échantillons (réanalyse, tests réflexes et complémentaires) et de la traçabilité

Les techniques informatiques ont profondément contribué à l'amélioration du travail et de l'organisation des laboratoires médicaux. La communication requête-hôte a pratiquement éradiqué certaines activités à haut risque liées à la transcription manuelle des données (17).

Les générations modernes d'instruments de laboratoire sont également équipées avec des logiciels avancés, permettant une meilleure gestion des échantillons.

Définir des règles de décision basées sur des critères permettent désormais l'autovérification des données, la réanalyse des échantillons avec des résultats anormaux, ainsi que le déclenchement de réflexes complémentaires des tests, qui contribuent à améliorer la qualité et la sécurité des résultats (18).

De plus, l'intégration de différents automates permet d'effectuer automatiquement de nombreux types de tests et de planifier de tests réflexes en utilisant différentes matrices. Par exemple, l'association d'un analyseur hématologique avec une zone de travail du sérum peuvent permettre de définir des règles automatiques en cas d'anémie par exemple, doser la ferritine, l'acide folique..etc ce qui va permettre de fournir des données plus complètes pour le diagnostic et le traitement (19).

2.5) Standardisation pour l'accréditation

Conserver toutes les différentes phases du processus de test total sous contrôle, incluant les activités extra-analytiques, est un pilier de la qualité totale dans les diagnostics de laboratoire (20) qui est également devenue une exigence obligatoire de l'organisation internationale de normalisation (ISO) 15189 (21).

Il est désormais indéniable que la consolidation de différents domaines de diagnostic au sein d'un même espace de travail nécessiterait moins d'efforts administratifs dans lesquelles les procédures multiples pour les analyses préanalytiques et postanalytiques

Ainsi que la gestion des échantillons peut être fusionnée lorsque plusieurs analyseurs sont intégrés dans la TLA.

La TLA semble également profitable pour de nombreux aspects liés à la qualité analytique, tels que les spécifications de qualité des dosages, traçabilité des calibrateurs, amélioration de la qualité et stabilité des réactifs.

La précision et la répétabilité tout au long des processus rendus possibles par l'automatisation des opérations apporterait des avantages primordiaux en matière de normalisation, simplifiant ainsi les procédures de certification et d'accréditation (22)..

2.6) Amélioration de la qualité des tests

La plupart des efforts déployés ont été essentiellement axés sur la partie analytique et ce n'est que récemment que l'attention a été accordée aux activités préanalytiques et post-analytiques.

Classiquement, l'automatisation préanalytique permet de prendre en charge l'essentiel des nombreuses activités manuelles ordinaires (c'est-à-dire le tri des échantillons, chargement, centrifugation, décapsulation, aliquotage et scellage); une telle normalisation des processus apportera des avantages tangibles sur la qualité de l'ensemble du processus de test en réduisant le risque d'erreurs de diagnostic (16). Hawker et al., a montré que la mise en place de la TLA a été efficace pour réduire le nombre des spécimens perdus de plus de 50 % (5).

Le processus d'analyse peut également être effectué de manière plus sûre et plus efficace à l'aide de TLA. En effet, plusieurs activités telles que la dilution des échantillons dont les résultats se situent en dehors de la plage de linéarité peut-être effectuée automatiquement, en récupérant l'échantillon de l'unité de stockage, sans intervention manuelle. Il est à noter également que certaines stations préanalytiques peuvent également effectuer automatiquement une évaluation de la qualité par la surveillance de l'intégrité de l'échantillon (volume de l'échantillon, hémolyse...etc). (23-25).

2.7) Intégration plus efficace des résultats des tests

La consolidation de nombreux domaines de diagnostic avec le même espace à des avantages organisationnels et techniques les progrès de l'informatique permettent désormais au personnel de laboratoire de naviguer et de gérer le flux de données des analyses et de l'archivage.

Le middleware de la plupart des modèles de TLA permet d'intégrer une vaste gamme de résultats pour différents analyseurs, avant même que les données ne soient transférées vers le LIS.

Cela permettrait non seulement de définir des critères d'auto-validation, mais permet également au personnel du laboratoire d'avoir une plus large image des résultats du patient, détectant ainsi plus efficacement les erreurs potentielles (16).

2.8) Risque biologique moindre pour les opérateurs

La sécurité des travailleurs est l'un des avantages les plus importants. En effet, elle limite la présence des opérateurs dans le lieu de travail et les protège des risques biologiques en diminuant la manipulation des matières.

2.9) Requalification du personnel et satisfaction au travail

La minimisation du travail manuel intensif est l'un des avantages majeurs de TLA, qui se traduiraient alors par une économie nette de personnel (technique et auxiliaire) nécessaire pour gérer le flux de travail du laboratoire. Par conséquent, cela permettra de requalifier le personnel, éliminer la main-d'œuvre et redéfinir les rôles professionnels vers des tâches à valeur ajoutée telle que l'évaluation de la qualité ou la mise en place de nouveaux tests, il est important également de mentionner que la requalification du personnel peut être intellectuellement satisfaisante, améliorant ainsi le moral et la productivité du personnel (26).

4. ÉCHEC ET LIMITES DE LA TLA

Les échecs de l'acquisition de la TLA sont souvent liés à une mauvaise compréhension de l'environnement et des attentes des cliniciens et des patients sans parler de l'insuffisance de l'assistance technique. Les attentes des biologistes sont fréquemment irréalistes en matière de coût à court terme, En effet, l'investissement pour la mise en œuvre de la TLA est inévitablement associé à une augmentation initiale des coûts (modifications environnementales, climatiseurs puissants, insonorisation), pour l'installation du système et pour le nouveau matériel (dépenses accrues pour les plateformes préanalytiques et chaînes de montage utilisés pour connecter les analyseurs séparés). Sans oublier les coûts cachés en matière de fournitures (embouts, éléments pour aliquoter et bouchons) et frais de fonctionnement (énergie et eau)(9).

Les besoins en espace et les contraintes d'infrastructure sont un enjeu majeur pour la mise en œuvre de TLA. L'intégration de plusieurs analyseurs et de nouveaux matériels dans un environnement préexistant est difficile, en particulier lorsque le bâtiment n'est pas construit à cet effet ou adapté à cette portée. Des modèles flexibles de TLA peuvent être préférable lorsque l'environnement ne permet pas de développer une solution idéale (27).

Un avantage incontestable de la mise en œuvre de TLA est que le personnel n'a plus besoin de se déplacer plusieurs fois d'un analyseur à l'autre, Néanmoins, la concentration de nombreux analyseurs différents dans la même zone va générer un travail surchargé dans un espace étroit avec de nombreux techniciens occupant le même l'espace et en même temps, d'où la nécessité d'identifier et élaborer un concept d'aménagement de laboratoire allégé (28).

5. CONCLUSION

Les TLA des laboratoires répondent à la croissance spectaculaire des demandes. En effet selon Modor intelligence le marché total de l'automatisation des laboratoires était évalué

à 4569,3 millions USD en 2020 et devrait atteindre une valeur de 6672,31 millions USD d'ici 2026 (29).

Avec la pandémie du Covid 19 et partout dans le monde, les laboratoires publics et privés ont traité plus de dossier et de données; la réduction des délais d'exécution et l'accélération du flux de travail tout en gardant une qualité des résultats sont devenues la priorité des laboratoires.

L'immunodosage (dosage des D-dimères et de la CRP), la numération formule sanguine et la sérologie (Sérologie Covid) ont pris de l'importance au cours de cette pandémie, cette augmentation sans précédent des volumes de tests a représenté une excellente occasion d'accélérer l'automatisation des laboratoires.

Aujourd'hui, la TLA entre dans une nouvelle phase; les laboratoires à travers le monde investissent massivement dans les TLA fournis par les sociétés de diagnostic in vitro; avec plus de 4 000 laboratoires dans le monde qui ont désormais installé des systèmes automatisés.

La connexion des appareils à Internet permet le suivi des patients à distance, les alertes, la gestion, etc.; la transformation numérique est le moteur de la croissance de ce marché. En effet, les outils basés sur Internet offrent aux laboratoires un moyen sécurisé d'organiser les données, permettant un accès rapide et facile aux informations, tout en facilitant le contrôle des données envoyées aux fournisseurs d'instruments (30).

La propagation de l'automatisation des laboratoires englobe également la spectrométrie de masse. La nouvelle génération de postes de travail préanalytiques, qui peuvent être connectés directement à la spectrométrie de masse, permettront l'automatisation de l'extraction manuelle et l'élimination des activités chronophages.

En effet, l'utilisation de plates-formes automatisées de manipulation des liquides pour le pipetage des échantillons et la précipitation des protéines réduit les délais d'exécution et augmente le débit (31).

DECLARATION D'INTERETS

Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêt.

6. REFERENCES

1.Ceppa F, Leclercq E, Janvier F, Cavallo J-D, Burnat P. Automation and consolidation of clinical biology: the HIA Begin experiment. *Ann Biol Clin (Paris)* [Internet]. 2008;66(3):341–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1684/abc.2008.0220>

2.Evangelopoulos AA, Dalamaga M, Panoutsopoulos K, Dima K. Nomenclature and basic concepts in automation in the clinical laboratory setting: a practical glossary. *Clin Lab* [Internet]. 2013;59(11–12):1197–214. Available from: <http://dx.doi.org/10.7754/clin.lab.2013.130140>

3.Clarke W, Marzinke M, editors. Contemporary practice in clinical chemistry. 4th ed. San Diego, CA: Academic Press; 2020 Laboratory automation Mark A. Marzinke Departments of Pathology and Medicine. Baltimore, MD, United States;

4.Bar Codes for Specimen Container Identification: Approved Standard. AUTO02-A2, CLSI. Wayne, PA; 2006.

5.Hawker CD, Roberts WL, Garr SB, Hamilton LT, Penrose JR, Ashwood ER, et al. Automated transport and sorting system in a large reference laboratory: part 2. Implementation of the system and performance measures over three years. *Clin Chem* [Internet]. 2002;48(10):1761–7. Available from: <http://dx.doi.org/10.1093/clinchem/48.10.1761>

6.Hawker CD. Laboratory automation: total and subtotal. *Clin Lab Med* [Internet]. 2007;27(4):749–70. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cll.2007.07.010>

7.Anderson JL, Adams CD, Antman EM, Bridges CR, Califf RM, Casey JDE. ACC/AHA 2007 guidelines for the management of patients with unstable angina/non STElevation myocardial infarction-executive summary. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol*. 2007;50(7).

8.lalongo C, Porzio O, Giambini I, Bernardini S. Total automation for the core laboratory: Improving the turnaround time helps to reduce the volume of ordered STAT tests: Improving the turnaround time helps to reduce the volume of ordered STAT tests. *J Lab Autom* [Internet]. 2016;21(3):451–8. Doi: 10.1177/2211068215581488

9.Archetti C, Montanelli A, Finazzi D, Caimi L, Garrafa E. Clinical laboratory automation: A case study. *J Public Health Res* [Internet]. 2017;6(1):881. doi:10.4081/jphr.2017.881

10.Seaberg RS, Stallone RO, Statland BE. The role of total laboratory automation in a consolidated laboratory network. *Clin Chem* [Internet]. 2000;46(5):751–6. doi:10.1093/clinchem/46.5.751

11.Angeletti S, De Cesaris M, Hart JG, Urbano M, Vitali MA, Fragiasso F, et al. Laboratory automation and intra-laboratory turnaround time: Experience at the university hospital campus bio-medico of Rome: Experience at the university hospital campus bio-medico of Rome. *J Lab Autom* [Internet]. 2015;20(6):652–8. doi: 10.1177/2211068214566458

12.Lou AH, Elnenaei MO, Sadek I, Thompson S, Crocker BD, Nassar B. Evaluation of the impact of a total automation system in a large core laboratory on turnaround time. *Clin Biochem* [Internet]. 2016;49(16–17):1254–8. doi: 10.1016/j.clinbiochem.2016.08.018

13. Chung H-J, Song YK, Hwang S-H, Lee DH, Sugiura T. Experimental fusion of different versions of the total laboratory automation system and improvement of laboratory turnaround time. *J Clin Lab Anal* [Internet]. 2018;32(5):e22400. doi: 10.1002/jcla.22400
14. Yu H-YE, Lanzoni H, Steffen T, Derr W, Cannon K, Contreras J, et al. Improving laboratory processes with total laboratory automation. *Lab Med* [Internet]. 2019;50(1):96–102. Doi: 10.1093/labmed/lmy031
15. Advances in clinical laboratory automation [Internet]. Aacc.org. [cited 2023 Feb 17]. Available from: <https://www.aacc.org/cln/articles/2014/december/lab-automation>
16. Yeo CP, Ng WY. Automation and productivity in the clinical laboratory: experience of a tertiary healthcare facility. *Singapore Med J* [Internet]. 2018;59(11):597–601. Doi: 10.11622/smedj.2018136
17. Lippi G, Plebani M. Toxic alcohol calculations and misinterpretation of laboratory results. *JAMA Intern Med* [Internet]. 2016;176(8):1228–9. Doi: 10.1001/jamainternmed.2016.3720
18. Hoffmann G, Aufenanger J, Födinger M, Cadamuro J, von Eckardstein A, Kaeslin-Meyer M, et al. Benefits and limitations of laboratory diagnostic pathways. *Diagnosis (Berl)* [Internet]. 2015;2(1):77. Doi: 10.1515/dx-2015-1000
19. Lippi G, Franchini M, Salvagno GL, Montagnana M, Targher G, Guidi GC. Determinants of anaemia in the very elderly: a major contribution from impaired renal function? *Blood Transfus* [Internet]. 2010;8(1):44–8. Doi: 10.2450/2009.0082-09
20. Aita A, Sciacovelli L, Plebani M. Extra-analytical quality indicators - where to now? *Clin Chem Lab Med* [Internet]. 2018;57(1):127–33. Doi: 10.1515/cclm-2017-0964
21. Sciacovelli L, Secchiero S, Padoan A, Plebani M. External quality assessment programs in the context of ISO 15189 accreditation. *Clin Chem Lab Med* [Internet]. 2018;56(10):1644–54. Doi: 10.1515/cclm-2017-1179
22. Lippi G, Da Rin G. Advantages and limitations of total laboratory automation: a personal overview. *Clin Chem Lab Med* [Internet]. 2019;57(6):802–11. Doi: 10.1515/cclm-2018-1323
23. Plebani M. Harmonization in laboratory medicine: more than clinical chemistry? *Clin Chem Lab Med* [Internet]. 2018;56(10):1579–86. doi:10.1515/cclm-2017-0865
24. Lippi G, Simundic A-M. The EFLM strategy for harmonization of the preanalytical phase. *Clin Chem Lab Med* [Internet]. 2018;56(10):1660–6. doi:10.1515/cclm-2017-0277
25. Haeckel R, Wosniok W, Arzideh F, Zierk J, Gurr E, Streichert T. Critical comments to a recent EFLM recommendation for the review of reference intervals. *Clin Chem Lab Med* [Internet]. 2017;55(3):341–7. doi:10.1515/cclm-2016-1112
26. Lippi G, Bassi A, Bovo C. The future of laboratory medicine in the era of precision medicine. *J Lab Precis Med* [Internet]. 2016;1:7–7. doi:10.21037/jlpm.2016.12.01
27. Melanson SEF, Lindeman NI, Jarolim P. Selecting automation for the clinical chemistry laboratory. *Arch Pathol Lab Med* [Internet]. 2007;131(7):1063–9. doi:10.5858/2007-131-1063-SAFTCC.
28. Genzen JR, Burnham C-AD, Felder RA, Hawker CD, Lippi G, Peck Palmer OM. Challenges and opportunities in implementing total laboratory automation. *Clin Chem* [Internet]. 2018;64(2):259–64. doi:10.1373/clinchem.2017.274068.
29. Rapport sur le marché total de l'automatisation des laboratoires, croissance, taille [Internet]. Mordorintelligence.com. [cited 2023 Feb 18]. Available from: <https://www.mordorintelligence.com/fr/industry-reports/global-total-lab-automation-market-industry>
30. Outlook: Lab automation in 2021 [Internet]. Healthcare-in-europe.com. 2021 [cited 2023 Feb 18]. Available from: <https://healthcare-in-europe.com/en/news/outlook-lab-automation-in-2021.html>
31. Salvagno GL, Danese E, Lippi G. Mass spectrometry and total laboratory automation: opportunities and drawbacks. *Clin Chem Lab Med* [Internet]. 2020;58(6):994–1001. Doi:10.1515/cclm-2019-0723