

ROYAUME DU MAROC



ACADEMIE HASSAN II DES SCIENCES ET TECHNIQUES

Perspectives en mathématiques

Pr. Mahouton Norbert Houkonnou

Membre associé de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

*Conférence donnée le 30 octobre 2024
à l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Rabat - Maroc*

Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Km 4, Avenue Mohammed VI (ex Route des Zaers)
Rabat, Royaume du Maroc

© Hassan II Academy Press

Réalisation : **AGRI-BYS S.A.R.L.**

Achevé d'imprimer : février 2025



**Sa Majesté le Roi Mohammed VI, que Dieu Le garde,
Protecteur de l'Académie Hassan II
des Sciences et Techniques**

Professeur Mahouton Norbert Houkonnou

- Président, Réseau des Académies Africaines des Sciences (NASAC), (2019 - -)
 - Ancien Président, Académie Nationale des Sciences, des Arts et des Lettres du Bénin, (2021--)
 - Président, Chaire Internationale en Physique Mathématique et Applications (Chaire ICMPA-UNESCO), Université d'Abomey-Calavi, 072 BP 50 Cotonou, République du BÉNIN
 - Professeur Chercheur TWAS, Université de Zambie, BP 32379, Lusaka, Zambie
- Email : norbert.hounkonnou@cipma.uac.bj, (avec copie à hounkonnou@yahoo.fr).

Je voudrais remercier le Secrétaire Perpétuel, l'académicien Omar Fassi-Fehri, ainsi que les membres du Conseil d'administration de notre Académie pour m'avoir identifié comme orateur à cette conférence sur « *les perspectives en mathématiques* » dans le cadre de l'important projet de création d'un centre d'excellence en sciences mathématiques sous l'égide de l'Académie. C'est un honneur tout particulier qui m'habite de me retrouver devant cette auguste assemblée de consœurs et confrères de l'Académie et des membres de la Communauté Mathématique du Royaume du Maroc.

Une conférence de cette envergure sur les mathématiques dont l'impact sur le développement est indéniable augure certainement de lendemains meilleurs pour ce pays et la sous-région qui partage les mêmes réalités que vous. Cette initiative honore notre Académie qui accomplit ainsi l'une de ses missions majeures, celle de se saisir des grands problèmes de la nation, d'en débattre en toute liberté et indépendance, dans la courtoisie, dans la pluralité des opinions, dans l'élévation d'esprit, dans le respect de la tradition, de la force, de l'intelligence, de la richesse des idées et d'en sortir des conseils et recommandations idoines qui adhèrent à des avancées réelles, pensées, réfléchies et durables pour inspirer de justes décisions aux autorités et autres acteurs de développement.

Se rendre utile et agir pour le bien commun, en fonction de convictions profondes, fondent notre patrimoine moral commun qui nous guide à rendre des avis et formuler des recommandations sur des sujets d'intérêt général ou sur des dossiers relatifs à la vie de la cité, à prodiguer des conseils et à fournir à la communauté une expertise plurielle certaine, nourrie par la pratique du terrain, l'exploitation systématique, patiente, laborieuse de sources documentaires souvent inédites et d'informations précieuses de première main, bref un gisement d'apports intellectuels dont nous savons tirer parti à l'Académie mieux que quiconque.

En acceptant de participer à cette conférence en ma qualité de Président du Réseau des Académies africaines des Sciences, je viens vous rassurer que la haute institution scientifique de notre continent soutient notre académie pour garder haut l'étandard de la science au Maroc et dans le monde.

J'apprécie et partage profondément cette vision. Cette manifestation se déroule en un moment crucial où la discipline est confrontée à de nouveaux défis liés au développement et à la détermination de symboles de qualité qui serviraient de boussole à leur juste résolution.

Chers confrères de l'Académie, chers collègues, distingués invités,

Les mathématiques pures ou appliquées naissent, interagissent entre elles et les autres sciences naturelles, humaines et sociales, évoluent, accompagnent les secteurs de développement humain global, s'y développent et suscitent de nouveaux progrès en réponse à la dynamique des besoins matériels ou spirituels de l'Homme et de son environnement.

Elles constituent un domaine d'enseignement et de recherche nécessitant peu d'investissement en comparaison avec d'autres disciplines qui font appel à des dispositifs

expérimentaux très coûteux. Elles trouvent de nombreuses applications dont elles s'enrichissent pour leur propre développement, dans pratiquement tous les domaines de la science, des sciences physiques et de l'énergie, de la biologie, de la finance, dans les sciences de l'environnement et du climat, de la santé, de la médecine, de l'agriculture, en économie y compris dans les sciences humaines et sociales. Les mathématiques sont à la base de l'ensemble des technologies modernes, telles que les télécommunications, l'énergie, la météorologie ou l'aéronautique, etc. Elles aident à prédire et comprendre des phénomènes physiques complexes en passant par la modélisation mathématique, l'analyse mathématique et la simulation numérique. Grâce à des outils mathématiques particulièrement performants, il est désormais possible de réaliser numériquement des expériences ou bien des objets, avant de passer au prototypage et à la réalisation réelle qui sont par ailleurs fort coûteux et où la marge d'erreur doit être minimale. Ces outils permettent également d'optimiser les réseaux de transports et de communications, de comprendre et de contrôler la propagation des épidémies, de planifier et de gérer des systèmes de santé, des systèmes économiques et sociaux grâce à la statistique et à l'optimisation, de concevoir des systèmes électoraux qui reflètent mieux les vœux des populations, de comprendre les risques d'origine naturelle (inondations, tremblements de terre, ouragans, etc.) et de s'y préparer afin d'éviter des catastrophes.

Les questions triviales qu'on pourrait se poser sont les suivantes :

- i. Quelle est l'importance des mathématiques d'hier à aujourd'hui dans l'histoire de l'humanité et leur impact sur la qualité de vie ? Subsidiairement, comment est née cette discipline qui règne si positivement dans tous les secteurs d'activités humaines ? Comment évolue-t-elle dans ses interactions avec notre écosystème global ? Qu'apporte-t-elle substantiellement aux autres domaines des sciences aussi bien sociales, humaines que naturelles ? Quelles en sont les interactions avec les autres domaines de connaissances ?
- ii. Quel rôle les mathématiques joueront-elles au service du Royaume du Maroc ?

Voilà autant d'interrogations que nous pourrions aborder dans cette communication.

1. Comment pourrait-on caractériser les mathématiques ?

Sans perte de généralités, je dirais comme bien d'auteurs que les mathématiques sont un ensemble de connaissances abstraites résultant de raisonnements logiques appliqués à des objets divers tels que les nombres, les formes, les structures et les transformations. Elles sont aussi le domaine de recherche développant ces connaissances, ainsi que la discipline qui les enseigne. Elles possèdent plusieurs branches telles que l'algèbre, l'analyse, la géométrie, la logique mathématique, etc. Il existe également une certaine distinction *réelle ou imaginaire* entre les mathématiques pures et les mathématiques appliquées : ce débat n'est pas abordé ici !

Les mathématiques, en tant que science, ont été développées avant même que l'homme ait commencé à écrire. Pour régler des problèmes de commerce, de mesures de superficies, de prédictions des événements astronomiques, . . . etc., l'homme a dû se munir d'outils,

de règles et de mesures stables et universelles créés au cours du temps et de l'évolution des civilisations.

Les mathématiques se distinguent des autres sciences par un rapport particulier au réel où l'observation et l'expérience ne portent pas que sur des objets physiques. Elles sont de nature presqu'entièrement intellectuelle, fondées sur des axiomes et des postulats ou des hypothèses. Leur développement est aussi intimement lié à l'histoire des mathématiciens eux-mêmes, à leurs lieux de travail, aux modes d'échange, d'écriture, de partage, de circulations de savoirs mathématiques, à l'histoire des théories et concepts, à l'histoire de leur enseignement, à l'histoire des sociétés et des civilisations (histoire sociale, économique, politique, militaire, etc.), à l'histoire des applications et interactions des mathématiques (techniques et technologies, instruments de calcul, etc.), à l'histoire des idées et à la philosophie. Rappelons qu'en Egypte ancienne et en Grèce antique par exemple, les mathématiques *cohabitaient* avec la philosophie, et la musique avec les mathématiques, etc. L'interdisciplinarité dominaient les sciences.

Les mathématiques sont aussi le langage de la nature, ou plus précisément le langage de la philosophie de la nature, c'est-à-dire de la physique. On attribue souvent le début de cette relation fusionnelle entre les mathématiques et la physique aux travaux de Kepler et de Galilée, au XVII^e siècle. Il y a alors un virage important dans l'histoire des sciences, exprimé par la fameuse citation de Galilée : « *La philosophie est écrite dans ce vaste livre qui constamment se tient ouvert devant nos yeux (je veux dire l'Univers), et on ne peut le comprendre si d'abord on n'apprend pas à connaître la langue et les caractères dans lesquels il est écrit. Or il est écrit en langue mathématique, et ses caractères sont les triangles, les cercles et autres figures géométriques, sans lesquelles il est humainement impossible d'en comprendre un seul mot, sans lesquelles on erre vraiment dans un labyrinthe obscur.*

 » (Galileo Galilei, « L'Essayeur », 1623).

Mathématiques et évolution des sociétés humaines

Les mathématiques se sont développées avec les besoins de l'Homme, mais ont pris aussi leur indépendance par rapport à ces besoins.

Le couple mathématique et développement a une longue histoire ! Si nous voulons analyser le rôle et l'apport des mathématiques aux efforts de développement de l'humanité, nous devons mettre en parallèle l'évolution des modes de vie de celle-ci et l'histoire des mathématiques. Ici je n'ai aucunement l'ambition de faire un tel récit d'histoire, mais de retracer brièvement dans le temps qui m'est imparti une caractérisation des activités humaines qui ont induit des pratiques mathématiques évidentes.

La première grande étape remonte à la période où l'Homme vivait essentiellement de la chasse et de la cueillette qui pourrait correspondre à la première utilisation des entiers naturels, relatifs et rationnels. En effet, le besoin de compter les *individus*, les proies et produits de chasse ou de cueillette ont poussé l'Homme à inventer les nombres et les règles de calcul élémentaire. On situe généralement la naissance des mathématiques à cette époque. Au début, les mathématiques étaient donc calculatoires : elles avaient pour fonction de calculer ce que l'on a, ce que l'on possède ou ce que l'on veut partager.

Cela expliquerait aussi pourquoi dans les cursus mathématiques, on commence par l'arithmétique tout simplement.

La découverte de l'agriculture et la sédentarisation ont poussé l'homme à inventer la géométrie pour résoudre des problèmes d'architecture, d'outils, de décoration, etc. La sédentarisation et la gestion des exploitations agricoles communes et/ou individuelles ont ainsi beaucoup contribué au développement de la géométrie.

Se sont développées d'autres branches comme l'analyse, l'algèbre, les équations différentielles, etc.

L'utilisation des moyens informatiques pour résoudre des problèmes géométriques a vu la naissance de la géométrie algorithmique, encore appelée géométrie analytique et informatique.

La vraie révolution mathématique intervient quand les mathématiques s'intéressent à d'autres disciplines telles que la biologie qui donne naissance à la biomathématique, la géologie pour donner la géo-mathématique, le contrôle, etc. De nos jours, la naissance de nouvelles mathématiques associées aux algorithmes, aux super – ordinateurs ouvre la voie à l'intelligence artificielle avec des applications spectaculaires dans tous les secteurs.

A l'instar des autres disciplines, l'évolution des mathématiques intègrent bien la description faite par Michel Serres, dans Éléments d'histoire des sciences, (Larousse, 1997, préface, p. 16):

« Loin de dessiner une suite alignée d'acquis continuos et croissants ou une même séquence de soudaines coupures, découvertes, inventions ou révoltes précipitant dans l'oubli un passé tout à coup révolu, l'histoire des sciences court et fluctue sur un réseau multiple et complexe de chemins qui se chevauchent et s'entrecroisent en des nœuds, sommes ou carrefours, échangeurs où bifurquent deux ou plusieurs voies. Une multiplicité de temps différents, de disciplines diverses, d'idées de la science, de groupes, d'institutions, de capitaux, d'hommes en accord ou en conflit, de machines et d'objets, de prévisions et de hasards imprévus composent ensemble un tissu fluctuant qui figure de façon fidèle l'histoire multiple des sciences ».

2. Comment les mathématiques impactent-elles le développement des capacités sociales, intellectuelles, professionnelles, morales, culturelles et spirituelles ? Comment nourrissent-elles le système éducatif, l'économie, l'avancement de la science et de la technologie, l'agriculture, etc. ?

A une récente conférence sur les mathématiques et les sciences sociales, je définissais les mathématiques comme une discipline qui joue un rôle clé dans notre civilisation moderne, en tant qu'outil pour comprendre et faire fonctionner la société et en tant qu'héritier d'une tradition enracinée dans de nombreuses cultures anciennes du monde. Les mathématiques sont utilisées pour étudier l'univers, systématiser les expériences, décrire et comprendre les relations dans la nature et la société. Le plaisir obtenu à travailler cette discipline est en soi une source d'inspiration pour son propre développement au

service de l'humanité. De cette façon, les mathématiques jouent un rôle important non seulement pour comprendre les progrès de la société, mais aussi pour développer celle-ci. Ainsi, à y regarder de près, comme décrit précédemment, les mathématiques jouent un rôle indéniable dans toute notre vie. Pour vivre une vie sociale, des connaissances mathématiques sont nécessaires. Le changement de structure sociale qui inclut les équipements modernes comme le mode de transport, les moyens de communication et les progrès dans le domaine de la science et de la technologie est dû essentiellement aux mathématiques.

Enseignement des mathématiques et développement intellectuel

L'enseignement des mathématiques est très important pour le développement intellectuel. Il n'y a pas d'autres matières dans les programmes scolaires que les mathématiques qui activent mieux le cerveau des élèves. La résolution de problèmes mathématiques aide au développement des facultés mentales et un travail mental est nécessaire pour résoudre des problèmes mathématiques. Lorsqu'un enfant fait face à un problème mathématique, son cerveau se met en activité pour essayer de le résoudre. Chaque problème de mathématiques met en œuvre une succession d'actions qui sont nécessaires pour développer l'esprit de construction et de créativité. De cette façon, toutes les capacités mentales de l'enfant sont développées grâce aux mathématiques.

De plus, les mathématiques rendent l'homme très calculateur, ce qui lui permet d'économiser du temps, de l'argent, de la parole, de la pensée, etc. Elles développent une forte volonté, de la patience, de l'autonomie et la faculté de découverte et d'invention.

Les mathématiques aident à préparer les étudiants à des métiers techniques tels que l'ingénierie, l'architecture, la comptabilité, la banque, les affaires, l'agriculture, la couture, la menuiserie, l'arpentage, le travail de bureau, etc. où les mathématiques sont appliquées.

Les mathématiques contribuent au développement moral des élèves, par le développement de caractère et de personnalité en eux. Elles développent toutes ces qualités qu'une personne de caractère fort doit posséder y compris des qualités de propreté, d'ordre, de réalité, d'organisation, etc.

Les mathématiques aident aussi à développer des capacités de réflexion chez les enfants et les adultes, et éventuellement, pour les plus réceptifs, le sens de la beauté d'une solution. On prend du plaisir à résoudre des problèmes mathématiques, surtout quand on obtient les bonnes réponses à son problème. À ce moment-là, chaque enfant se sent satisfait, confiant et autonome. L'esthétique d'une solution élégante est quelque chose de fantastique qui émerveille et plonge dans un rêve inouï qui ne peut être perçu par quelqu'un qui déteste les mathématiques. L'enfant s'abreuve à des sources d'encouragements, de satisfaction et de bonheur pour aboutir à des réalisations de plus en plus remarquables. Les mathématiques aident à développer leur sensibilité esthétique, répondent à leurs divers intérêts et les aident à utiliser correctement leur temps libre. Elles les font rêver et sans rêve il n'y a point de vie !

Les mathématiques contribuent au développement de la civilisation et de la culture. Elles permettent de comprendre les beaux-arts et les beautés de la vie. Ici je vous renvoie aux œuvres d'un grand ethno-mathématicien africain, le feu professeur Paulus Gerdès du Mozambique.

Les mathématiques ont leur propre beauté intrinsèque et leur propre attrait esthétique, mais leur rôle culturel est principalement déterminé par la manière dont on les perçoit. Les réalisations et les structures mathématiques sont reconnues comme faisant partie des plus grandes réalisations intellectuelles de l'espèce humaine.

La forte dépendance des mathématiques du raisonnement logique est un atout dans un monde où la pensée et le comportement rationnels sont très appréciés. De plus, le potentiel d'aiguillage de l'esprit et des capacités de résolution de problèmes favorisé par les connaissances mathématiques contribue de manière significative aux objectifs généraux d'acquisition de la sagesse et des capacités intellectuelles chez l'Homme.

Mathématiques et mathématiciens

Récemment, dans un livre collectif (M. N. Hounkonnou *et al*, 2023), nous écrivions : « *la relation entre la matière mathématique et un passionné de la discipline s'apparente à un rapport érotique entre deux êtres qui ne cessent de se découvrir dans de nouveaux désirs interminables. Cette présence active de liens continus entre la matière et son adepte transporte au-delà des limites de l'obsession physique et provoque une soif et un désir permanents de rencontre et de découverte de nouvelles idées à l'intérieur même d'anciens travaux dont les contours peuvent parfois paraître déjà suffisamment exploités. La quête du nouveau dans ses travaux, le plaisir que l'on éprouve à même aborder des sujets déjà explorés en levant des hypothèses pour tendre vers une certaine généralisation, et la joie voire l'émerveillement d'en tirer de nouvelles conséquences créent en nous des sensations extraordinaires que l'on ne peut décrire dans un autre langage que celui des mathématiques elles-mêmes. Ces sentiments poussent toujours vers davantage de mathématiques à l'instar d'un enfant à qui l'on donne du chocolat au lait qu'il aime bien avec la possibilité qu'il puisse se servir à volonté dans la boîte au chocolat placée en face de lui. La différence ici entre les deux processus tient au fait que la boîte au chocolat mathématique est infinie comparée au volume fini de la boîte au chocolat offert à l'enfant. Il y a une sorte de dialogue profond d'intérêt infini entre le mathématicien et sa matière, une sorte d'amour fou mais vrai qui les lie de manière inséparable, que nul ne peut comprendre s'il n'est un mathématicien professionnel. Dans le fond, une telle interaction ne naît pas spontanément, mais s'installe progressivement au point d'entraîner les protagonistes dans un élan de non-retour. Une relation de fidélité s'instaure de manière irréversible, sans cesse nourrie de nouvelles lectures, de relectures, de contributions, de constructions, de déconstructions, de discussions, etc. aussi enrichissantes et passionnantes qu'amusantes et entraînantes. Dans cette marche, des erreurs se font, même plus souvent qu'on ne l'imagine, mais elles enrichissent plus que des succès et impulsent vers davantage de progrès et de compréhension. Chaque nouveau résultat engendre un nouveau problème, et au-delà peut réveiller un ancien*

problème, soit déjà résolu mais avec des hypothèses grossières, soit antérieurement classé difficile à résoudre faute d'outils appropriés établis. Cette manière de labourer et de relabourer le terrain mathématique lui confère depuis les temps anciens utilité, fertilité, beauté et admiration humaine », fin de citation.

Mathématiques, sciences et technologie

Dans le système éducatif, les mathématiques jouent un rôle important dans la formation des jeunes pour le futur. Toutes les matières enseignées à l'école et à l'université telles que la physique, la chimie, les sciences de la vie, l'économie, les affaires et la comptabilité, la géographie, l'histoire, la psychologie, l'architecture, la conception, l'informatique, les statistiques, le commerce, etc. s'accompagnent de l'enseignement des mathématiques. Dans les métiers d'esthéticiennes, de sportifs, d'agriculteurs, etc., des connaissances mathématiques sont tout aussi nécessaires. Même les professions telles que chef d'orchestre, commerçant, chauffeurs, musiciens, magiciens, caissiers, etc. utilisent des concepts mathématiques de base.

Les mathématiques constituent le fondement essentiel de l'économie. Elles sont prépondérantes dans les sciences physiques, la technologie, les affaires, les services financiers, dans les domaines des TIC, en biologie, en médecine et dans les sciences sociales. Les mathématiques sont à la base des recherches et développements scientifiques et industriels. De plus en plus, de nombreux systèmes et structures complexes du monde moderne ne peuvent être compris qu'à l'aide des mathématiques. Une grande partie de la conception et du contrôle des systèmes de haute technologie dépend d'entrées et de sorties mathématiques.

L'aspect *fonctionnel* des mathématiques découle de leur importance en tant que langage de la science, de la technologie et de l'ingénierie, ainsi que de leur rôle dans le développement de ces domaines. Cette implication est aussi ancienne que les mathématiques elles-mêmes et on peut affirmer que, sans les mathématiques, il ne peut y avoir ni science ni ingénierie. À l'époque moderne, l'adoption de méthodes mathématiques dans les sciences sociales, médicales et physiques s'est rapidement accrue, imposant les mathématiques comme un élément indispensable de tous les programmes scolaires et universitaires, avec un besoin croissant de modélisation mathématique et statistique des phénomènes. Une telle modélisation, à la base de toute ingénierie, joue un rôle vital dans les sciences physiques et contribue de manière significative aux sciences biologiques, à la médecine, à la psychologie, à l'économie et au commerce.

Les mathématiques sont abondamment appliquées à l'agriculture, à l'écologie, à l'épidémiologie, à la modélisation tumorale et cardiaque, au séquençage de l'ADN et à la technologie génétique. Elles sont utilisées pour fabriquer des dispositifs médicaux et faire des diagnostics, ainsi que pour la technologie des capteurs.

En raison de leur nature fondamentale en tant que langage abstrait universel et fondement des sciences, de la technologie et de l'ingénierie, les mathématiques revendiquent un statut intrinsèquement différent de celui de la plupart des autres disciplines. Elles sont omniprésentes dans notre vie. En effet, aujourd'hui, les mathématiques ont largement

dépassé la conception selon laquelle seuls les faits logique et formel sont d'ordre mathématique. Elles sont inscrites dans la nature même. Et pour s'en convaincre, il suffit d'observer le fonctionnement de l'univers, comme l'avait écrit Galilée : *La philosophie est écrite dans cet immense livre qui se tient toujours devant nos yeux, je veux dire l'Univers, mais on ne peut le comprendre si l'on ne s'applique d'abord à en comprendre la langue et à connaître les caractères avec lesquels il est écrit. Il est écrit dans la langue mathématique et ses caractères sont des triangles, des cercles et autres figures géométriques, sans le moyen desquels il est humainement impossible d'en comprendre un mot. Sans eux, c'est une errance vaine dans un labyrinthe obscur.* (Galilée, cité par Chauviré, 1980 : 141).

L'homme qui consacre sa vie au développement des mathématiques est donc un bâtisseur du présent et de l'avenir.

3. Quel rôle les mathématiques joueront-elles à l'avenir ?

Les mathématiques sont comme la mer. Pour paraphraser Jamie McKinstry (Jamie McKinstry: Floating Ideas : Memory and Sea in Medieval Romances ; dans *The Sea in the Literary Imagination : Global Perspectives*, B. P Robertson, E. V. Kobeleva, S. W. Thompson, K. D. Weddle (Eds), Cambridge Scholars Publishing, 2019) :

« *La mer est pleine de paradoxes littéraux et symboliques... Nos réflexions sur la mer vont au-delà de l'interprétation de l'étendue d'eau elle-même. En fait, la mer nous donne la liberté de projeter nos propres pensées dans et sur cet immense espace. La mer nous donne le temps de penser à nous-mêmes en termes d'où nous avons été, où nous sommes maintenant et où nous pourrions aller* ».

Dans son livre « Pour une mathématique au service du développement de l'Afrique » Christophe Fotso écrit : « *S'il est vrai que toute science se développe aux frontières d'autres disciplines avant de s'intégrer dans une philosophie, la recherche mathématique est aujourd'hui tellement foisonnante qu'il serait bien présomptueux de prétendre avoir cerné toute l'histoire de son évolution, de donner un panorama des progrès réalisés récemment, de dessiner les grandes tendances de son futur...* »

Néanmoins, plusieurs facteurs dessinent d'heureuses perspectives pour les sciences mathématiques dans la vie de nos sociétés en pleine expansion comme un enjeu pour le développement durable des sociétés. Pour en donner un tableau non exhaustif mais éloquent, notons l'ampleur des phénomènes de changements climatiques ces dernières années qui impose de mettre en place des dispositifs de surveillance et de protection du milieu naturel. Quelles disciplines scientifiques autres que les mathématiques sont-elles en mesure de fournir des données sur la base des prédictions, de calculs des effets possibles et de projection pour atténuer l'acuité des conséquences de l'érosion côtière, de la montée des océans, ou encore de la gestion de la pêche qui constituent des enjeux majeurs pour le développement économique de nos pays ? L'étude et la compréhension de ces phénomènes nécessitent des outils mathématiques de plus en plus sophistiqués.

Le monde actuel vit l'effervescence de la science des données au cœur de la révolution technoscientifique en cours dominée par la robotique et l'intelligence artificielle.

C'est donc à juste titre que l'Union mathématique internationale (UMI), avec le soutien de l'UNESCO, a fait de l'année 2000 l'année mondiale des mathématiques (UNESCO, 2019)^[14]. Dans le prolongement des acquis de cette année mondiale, l'UNESCO proclame le 14 mars de chaque année comme la journée internationale des mathématiques. Celle-ci a pour objectifs de faire mieux connaître « *la place des mathématiques dans le domaine des sciences, des technologies et de l'innovation, ainsi que le rôle de leurs applications dans la promotion de l'éducation, l'amélioration de la qualité de vie dans le monde et la réalisation des Objectifs de développement durable* » (UNESCO, 2019 : 2).

Grandes tendances en mathématiques

Les domaines scientifiques et les sujets considérés comme les plus dynamiques (CNRS, 1992; Greenwald & Thomley, 2012) encore récemment comprennent la physique statique, la géométrie algébrique, les réseaux de neurones, les théories de la complexité (complexité de calcul et d'algorithmes, mathématiques discrètes), les travaux sur les rapports imprévus entre le chaos quantique et l'hypothèse de Riemann, les phénomènes chaotiques, de la turbulence au sein d'un gaz, l'utilisation de la théorie de jauge issue de la physique des particules dans la topologie des variétés différentielles de dimension quatre qui semblent être plus proches des variétés complexes que des variétés réelles, l'application des algèbres d'opérateurs à la théorie des nœuds, l'utilisation des concepts de la théorie quantique des champs dans l'analyse sur les variétés et divers domaines géométriques et topologiques, pour n'en citer que quelques-uns qui continuent d'animer la discipline. Mais les orientations mathématiques sont imposées essentiellement par la nature des problèmes aussi bien fondamentaux qu'appliqués, exigeant des solutions exactes ou non.

Comme nous l'avons déjà signalé dans la première partie de cette conférence, il existe une interaction mutuellement bénéfique entre les mathématiques et les autres disciplines scientifiques. En mécanique quantique, une particule est une représentation de la notion de groupe ; la gravité en théorie de la relativité est une propriété géométrique de l'espace-temps. Certains résultats mathématiques se démontrent par le biais de la physique, notamment en géométrie et en topologie. Le mathématicien physicien Witten a réussi, il y a une vingtaine d'années, à trouver, sans démonstration exclusivement mathématique, mais simplement à partir d'une intuition physique, des propriétés topologiques tout à fait remarquables dans la théorie quantique des champs.

Parmi les théories mathématiques dominantes on peut aussi citer : la théorie de la décidabilité en algèbre universelle, celle de la complexité de calcul qui traite des mathématiques *effectives* et dans lesquelles les objets qu'on manipule sont construits par des algorithmes (suites finies d'instructions). Les mathématiques discrètes, quant à elles, sont nées et se développent pour ces finalités. Ici, on s'intéresse non plus à des propriétés mathématiques en général, mais à des propriétés qui s'écrivent avec un nombre fini de symboles en un temps fini. Elles sont beaucoup plus liées aux machines telles que les ordinateurs, capables de traiter une masse d'informations.

Principaux secteurs imposant de fortes implications mathématiques

Les mathématiques évoluent constamment et influencent de nombreux domaines scientifiques, technologiques, économiques et sociaux. A mesure que les défis mondiaux se complexifient et que les technologies avancent, les mathématiques ouvrent des perspectives fascinantes pour l'avenir, comme une discipline qui se renouvelle de manière permanente et qui s'enrichit au contact de la société et des autres domaines de connaissances.

Les problèmes du secteur de l'environnement, de la botanique, de la chimie, de la géographie, du traitement des déchets toxiques, de la vitesse de dégradation de la couche d'ozone et de ses effets sur la faune et la flore, de gestion des problèmes d'urbanisation, de réduction des effets sur la faune et la flore, de la dynamique de la fonte des glaces, de la mesure de la variation des précipitations, des épidémies, de la santé, de contrôle optimal sur la gestion et la stabilisation d'une structure, de calcul scientifique avec les essais non destructifs par ordinateur dans les industries automobiles, de la théorie des ondelettes dans les compagnies pétrolières, de traitement des signaux en télécommunication, du krigeage en géostatistique, de la simulation des gisements dans les industries pétrolières, dans les domaines de production de l'énergie, de l'aéronautique, de la pharmacie, de l'assurance, de la banque, de la finance, de contrôle de gestion ou d'inspection, de risques liés à un contrat d'affaires, de campagne commerciale, de lancement d'un nouveau produit, etc., vont exiger davantage de ressources essentiellement mathématiques pour leur résolution. Passons brièvement en revue quelques secteurs pertinents.

Mathématiques et Intelligence Artificielle

Les mathématiques continueront de jouer un rôle clé dans le développement de l'intelligence artificielle (IA), du machine learning et du deep learning. L'optimisation, les statistiques avancées, l'algèbre linéaire et les réseaux de graphes sont déjà au cœur des modèles d'IA, et on s'attend à voir de nouvelles branches mathématiques émerger pour traiter des aspects plus subtils de l'IA, comme l'explicabilité et l'interprétabilité des modèles. Les mathématiques avec l'intelligence artificielle développent des techniques comme la construction des systèmes experts pour rester davantage au service des autres disciplines. De nouveaux outils essentiellement informatiques accompagnent désormais l'homme dans ses diverses actions journalières. Il ne s'agit pas seulement des encyclopédies, mais surtout des outils mathématiques tels que les algorithmes, les applications pour aider les machines à *raisonner*. Ces innovations technologiques globalement appelées *e-services* se distinguent dans leur dénomination par les préfixes *e*– pour electronic, *i*– pour intelligent ou *m*– pour mobile qui précèdent généralement leurs dénominations. C'est ainsi que l'on a des *e-mail* (courrier électronique), *e-health* (télémedecine), *e-voting* (vote électronique), *i-voting* (vote par internet ou vote en ligne), *e-commerce* (commerce électronique ou en ligne), *e-business*, *e-government* (administration en ligne), *e-book* (livre électronique), *m-learning* (pour faciliter les études aux apprenants qui pourront désormais accéder à des bibliothèques via l'électronique), *m-voting* (vote par téléphone mobile), *e-whiskers* ou *e-moustaches* (des

capteurs pouvant permettre à des robots de se mouvoir dans des milieux avec obstacles), *e-profile* (comportement ou image en ligne). Bref, des *e-services* pour une *e-société*.

Par ailleurs, avec l'adoption croissante des algorithmes dans la société, les mathématiques jouent un rôle dans la conception de modèles d'IA justes, transparents et *éthiques*. Des concepts comme l'équité, l'interprétabilité et la causalité sont devenus des sujets de recherche importants pour concevoir des systèmes qui respectent les valeurs humaines et les droits des utilisateurs.

La théorie des jeux permet de mieux comprendre les décisions stratégiques dans des environnements où des agents intelligents interagissent. Elle aide également à modéliser des choix éthiques et équitables dans des contextes d'intelligence artificielle.

L'avènement des ordinateurs quantiques devraient offrir de nouvelles capacités de calcul, notamment pour les algorithmes de machine learning. Les mathématiques quantiques, avec des concepts comme les algorithmes de Grover et de Shor, jouent un rôle clé dans le développement de ces technologies et nécessitent de nouveaux modèles mathématiques pour exploiter pleinement le potentiel de l'IA quantique.

Mathématiques, biologie et sciences de la vie

Les mathématiques sont de plus en plus utilisées pour modéliser des systèmes biologiques complexes, comme le comportement des cellules, le fonctionnement du cerveau et les écosystèmes. Les domaines comme la biologie mathématique et la biomathématique qui utilisent des équations différentielles, des théories des réseaux et des modèles statistiques avancés, sont essentiels pour comprendre des systèmes dynamiques et chaotiques dans la biologie.

L'analyse des données génomiques et la bio-informatique sont en plein essor. Les mathématiques statistiques, l'optimisation et les algorithmes d'apprentissage automatique sont utilisés pour analyser de grandes quantités de données génétiques, ouvrant ainsi la voie à la médecine personnalisée et à la prédition des maladies.

Modélisation climatique et météorologie

La modélisation des systèmes climatiques repose sur des mathématiques complexes, notamment des équations différentielles aux dérivées partielles, des systèmes dynamiques et des simulations numériques. Les mathématiques permettront d'améliorer les modèles climatiques pour mieux prédire l'évolution du climat et l'impact du changement climatique.

Optimisation des ressources et énergie

Les mathématiques de l'optimisation jouent un rôle crucial dans la gestion des ressources naturelles et l'efficacité énergétique. Les modèles mathématiques permettent d'optimiser les réseaux de distribution d'énergie, de concevoir des systèmes d'énergie renouvelable efficaces et de minimiser la consommation des ressources.

Cryptographie post-quantique

Les ordinateurs quantiques vont fortement impacter les systèmes de cryptographie. Les mathématiques sont donc indispensables pour développer des algorithmes de cryptographie post-quantique, capables de résister aux capacités de calcul de ces nouveaux types ordinateurs.

Théorie de l'information et compression

Avec l'augmentation massive de la production de données, la théorie de l'information et les mathématiques de la compression jouent un rôle essentiel dans la transmission, le stockage et l'analyse des données, que ce soit pour l'Internet des objets, les télécommunications ou les réseaux sociaux.

Mathématiques et sciences sociales

Les mathématiques jouent un rôle central dans la modélisation des marchés financiers, la gestion des risques et l'analyse économique. Les mathématiques financières évoluent pour intégrer des modèles de prise de décision comportementale, des simulations stochastiques et des algorithmes de machine learning, pour améliorer la prévision des risques et la gestion des actifs.

Avec la montée en puissance des réseaux sociaux, les mathématiques permettent de modéliser les interactions humaines et d'analyser les dynamiques de groupe. Des domaines comme la théorie des graphes et la modélisation des réseaux sont essentiels pour comprendre les influences sociales, la propagation de l'information et le comportement collectif.

Systèmes complexes et sciences du chaos

La compréhension des systèmes complexes, comme le climat, les marchés financiers ou les réseaux biologiques, repose sur la théorie des systèmes dynamiques. Les mathématiques des systèmes chaotiques permettent de mieux comprendre la sensibilité aux conditions initiales et les comportements imprévisibles de ces systèmes.

Dans des domaines comme la robotique en *essaim* ou la modélisation des comportements d'insectes ou d'oiseaux, les mathématiques sont essentielles pour comprendre et prédire les comportements collectifs et l'auto-organisation des agents.

Mathématiques fondamentales

Toutes ces multiples applications découlent naturellement des théories mathématiques fondamentales qui se développent par la construction de nouveaux outils, de nouvelles propriétés quantitatives et qualitatives, par l'approfondissement et le raffinement de connaissances pures, au moyen d'investigation, d'invention et d'abstraction.

Des domaines comme la topologie algébrique et la géométrie différentielle, qui sont des

branches des mathématiques fondamentales, ayant des applications dans des domaines aussi variés que la physique théorique, les réseaux neuronaux et l'analyse des données vont davantage se développer dans l'avenir. La géométrie algébrique et les théories des espaces de dimension élevée ouvrent déjà des perspectives pour modéliser des espaces de données complexes.

Les modèles de machine learning actuels sont souvent limités par des relations de corrélation. La causalité est un domaine mathématique qui permet de découvrir des relations causales, ce qui est essentiel pour des applications en médecine, où il est crucial de comprendre les causes sous-jacentes aux phénomènes observés.

Les mathématiques fondamentales seront un pilier central de l'innovation en IA, car elles permettront de construire des modèles plus efficaces, robustes, interprétables et *éthiques*. A mesure que les technologies de l'IA se diversifient, les mathématiques devront répondre à des défis de plus en plus complexes et sophistiqués, ce qui contribuera à l'émergence de nouvelles disciplines et à l'évolution des méthodologies existantes. Cette symbiose entre mathématiques et IA laisse entrevoir un avenir riche en découvertes et en transformations technologiques.

La compréhension des modèles d'IA (souvent qualifiés de «boîtes noires») est un défi. Les mathématiques, en particulier l'analyse fonctionnelle et les méthodes de sensibilité, permettent de rendre les modèles plus transparents et compréhensibles pour les utilisateurs finaux.

La théorie des nombres reste une branche essentielle pour la cryptographie. Avec les avancées en cryptographie quantique et les besoins croissants en cybersécurité, cette théorie et les mathématiques de la sécurité des systèmes d'information continuent de susciter un intérêt majeur.

En guise de conclusion

Les perspectives en mathématiques sont variées, multidimensionnelles, plurielles et multisectorielles. Que ce soit pour répondre aux défis technologiques, climatiques, économiques ou sociaux, les mathématiques resteront un pilier central de l'innovation et de la compréhension de notre univers. L'évolution des besoins sociétaux et technologiques continuera de susciter l'émergence de nouvelles branches mathématiques, tout en approfondissant les domaines traditionnels. L'avenir des mathématiques est donc aussi bien tourné vers l'application pratique que vers l'exploration théorique, dans le vaste océan de l'innovation, de l'interdisciplinarité et de la rigueur.

En somme, les mathématiques vont continuer à régir l'ensemble de l'écosystème intégral de la société humaine et de ses activités dont elles détermineront la nature et le contenu de leur développement.

4. Quelle vision pour un institut d'excellence en sciences mathématiques sous l'Académie Hassan II des sciences et Techniques du Maroc ?

Le degré de développement d'un pays se mesure en très grande partie à sa maîtrise des sciences fondamentales et des technologies, et ce critère est tellement implacable que la présence d'énormes richesses dans son sous-sol ne modifie pas considérablement le classement d'un pays (prédominance de l'or gris sur l'or noir, l'or vert, l'or jaune...). (Bitjong Ndombol, cité par Dutertre & Békollè, 2001 : 40).

L'Académie Hassan II des Sciences et Techniques sous le leadership de son Secrétaire Perpétuel, le confrère Omar Fassi-Fehri, a bien compris cette leçon des choses, ce qui justifie la vision adoptée de créer un institut d'excellence en sciences ouvert à l'international dans le but de fédérer les talents pour une recherche mathématique d'excellence axée sur des priorités contemporaines impliquant aussi bien les fondamentaux que les applications afin de maximiser l'impact des sciences mathématiques sur les sciences et les technologies émergentes au profit de la société.

Cette démarche devrait rencontrer à merveille les Hautes Orientations de Sa Majesté le Roi Mohammed VI, que Dieu L'Assiste, de faire jouer au Royaume du Maroc le rôle qui lui revient dans l'arène régionale et internationale.

Chers consœurs et confrères, plusieurs raisons justifient la création de l'institut d'excellence en sciences mathématiques de l'Académie.

Au plan global

Il est prouvé que

- les mathématiques visent à faire de l'humain un être libre, doué d'un esprit critique, capable de déconstruire et de construire l'architecture sociétale. La rigueur de raisonnement logique imprimée par l'enseignement des mathématiques libère l'individu de l'irrationalité et le prépare à des réflexions profondes et aux justes questionnements sur sa vie et son environnement ;
- les mathématiques participent de la culture humaine, comme un domaine dotant chaque individu de capacités à trouver des solutions aux problèmes de son milieu, aux défis de l'humanité et de son écosystème aux niveau local et global ;
- les mathématiques nourrissent, par la logique qui les caractérise, tous les autres domaines de connaissances et se développent davantage par les besoins et le fruit de nombreuses interactions qu'elles construisent avec ces domaines ;
- elles constituent, en définitive, l'une des principales clés de développement.

En somme, la société humaine est mathématique dans un univers qui est lui-même profondément mathématique.

Au plan spécifique

- faire reposer l'essor des sciences mathématiques au niveau national et régional sur des bases solides ;

- capitaliser les acquis du développement des sciences mathématiques au Maroc et ailleurs pour perpétuer une tradition d'excellence dans le domaine aux niveaux national et régional;
- faire du Maroc un pôle d'attraction de choix pour les meilleurs chercheurs en sciences mathématiques du pays, du continent et de la diaspora ;
- réaliser un vieux rêve de construction d'un institut d'excellence africain en sciences mathématiques comme cadre de formation de générations de jeunes mathématiciens africains conquérants, aguerris à la compétition internationale, candidats potentiels aux plus prestigieuses récompenses en mathématiques comme la *médaille Fields* et le *prix Abel* ;
- enfin, célébrer de la manière la plus noble le patrimoine mathématique riche du Royaume, de l'Afrique et la contribution incontestable des marocains et Africains au développement des mathématiques.

Développement d'expertise et retombées socioéconomiques

La création d'un institut d'excellence en sciences mathématiques au Maroc offrirait plusieurs avantages :

Développement du savoir et de l'expertise locale : un tel institut attirerait des chercheurs marocains et internationaux, permettant ainsi le développement de l'expertise locale dans des domaines mathématiques variés et de pointe, tels que la finance quantitative, les probabilités, l'analyse, et d'autres branches des mathématiques appliquées.

Formation avancée des étudiants : en intégrant des programmes de doctorat et de recherche, l'institut pourrait former des étudiants marocains et les préparer aux standards internationaux, leur offrant des opportunités de contribuer à des projets de recherche importants et d'améliorer leur employabilité.

Contribution à l'économie : les applications des mathématiques dans des secteurs comme la finance, l'ingénierie, l'intelligence artificielle, et les télécommunications sont vastes. Un institut de recherche pourrait jouer un rôle majeur dans le développement économique en apportant des solutions mathématiques à des problèmes pratiques rencontrés dans maints domaines.

Attractivité internationale : un institut d'excellence en mathématiques performant pourrait attirer des talents et des collaborations internationales, plaçant le Maroc sur la carte des pays avec des centres de recherche avancés en sciences.

Source d'innovation : la recherche mathématique, moteur d'innovations technologiques, contribuerait à un écosystème où l'innovation est encouragée, ce qui pourrait avoir des retombées positives sur d'autres domaines de la recherche et de l'industrie.

Enfin, cet institut renforcera la position du Maroc dans la recherche scientifique et l'enseignement supérieur aux niveaux national et international.

5. Quelles leçons de l'histoire des centres de référence en sciences mathématiques à mettre au service de cette initiative ?

L'histoire nous donne quelques indications utiles sur ce qui fonctionne bien en matière de centres de sciences mathématiques.

L'Institut de Princeton et l'Institut des Hautes Etudes Scientifiques (IHES) sont tous deux des exemples d'instituts de grande réputation où la décision initiale a été de trouver des talents exceptionnels et de les regrouper en un seul lieu en tant que professeurs ou chercheurs permanents. Ensuite, ont suivi des séminaires et un flux de visiteurs.

Ces deux institutions de référence ont compris que la **cohabitation de la physique théorique et des mathématiques** permet de construire un cadre intellectuel riche et fécond.

En définitive qu'est-ce qui fait qu'un institut fonctionne bien ?

Plusieurs choses certainement, mais notamment le talent, la capacité à attirer le talent, un campus agréable, un environnement stimulant, le sentiment qu'un travail important s'y déroule, le financement des visiteurs, des programmes de séminaires efficaces, etc.

Quels sont les problèmes récurrents à résoudre ?

Comment persuader les meilleurs talents à devenir professeurs ou chercheurs permanents ? Comment les financer ? Comment en définir le nombre minimal ?

Princeton a commencé avec 6, bien sûr, et cela semble être un bon nombre.

Comment financer un flux de visiteurs ? Comment créer des séries de séminaires qui attirent les meilleurs talents ?

Si nous pouvons trouver six mathématiciens de haut niveau et le financement nécessaire, le reste va probablement suivre.

En définitive, des expériences réussies, la « *formule de base* » du succès paraît bien simple à suivre. Le principal défi consiste bien sûr à trouver des personnes et de l'argent. La Chine résout le problème des talents en *les bombardant d'argent*. Ce n'est nullement une solution nouvelle, bien évidemment. Toutes les grandes puissances procèdent de la même manière.

La matière grise est un produit du marché international et se l'offre qui en a les moyens.

Je vous remercie.

Références

1. J. D. Adams , G. C. Black , J. R. Clemons c, P. E. Stephan, Scientific teams and institutional collaborations: Evidence from U.S. universities, 1981–1999, Research Policy Vol. 34, Issue 3, 259-285, (2005).

2. C. Chauviré, *L'essayeur de Galilée*, Annales littéraires de l'Université de Besançon, Les Belles Lettres, Paris, (1980) ; Galileo Galilei, Il Saggiatore, (1623).
3. M. Serres, *Éléments d'histoire des sciences*, (Larousse, préface, 16, 1997)
4. M. N. Hounkonnou, D. Martinovic, M. Mitrovic, P. Pattison, editors, *Mathematics for social sciences and arts: Algebraic modelling*, (Mathematics in Mind, Springer, 2023).
5. David Békollè, (Galilée, cité par Chauviré, 141, 1980) dans la Préface au livre de C. Fotso, *Pour une mathématique au service du développement de l'Afrique*, (esbc-Editions science et bien commun, 2020).
6. J. McKinstry: *Floating Ideas : Memory and Sea in Medieval Romances* dans The Sea in the Literary Imagination : Global Perspectives, B. P Robertson, E. V. Kobeleva, S.W. Thompson, K. D. Weddle (Eds), (Cambridge Scholars Publishing, 2019).
7. C. Fotso, *Pour une mathématique au service du développement de l'Afrique*, (esbc-Editions science et bien commun, 2020).
8. Voir <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000265647>.
9. CNRS, 1992; Greenwald & Thomley, 2012. Cf réf. 7.
10. J. Dutertre, J., & D. Békollè, Mathématiques et développement en Afrique, Le Jaune et le Rouge, n° 565, 40, (2001) ; <https://www.lajauneetlarouge.com/mathematiques-et-developpement-en-afrigue/>.
11. Communication privée avec des collègues Youssef Ouknine, (Maroc), Omar El Fallah, (Maroc), Jean Pierre Bourguignon, (France), Philip Bond, (Angleterre) ; cf. P. Bond, *An independent review of knowledge exchange in the mathematical sciences*, facilitated by the Engineering and Physical Sciences Research Council and the Knowledge Transfer Network.

**Hassan II Academy of Science and Technology
Km 4, Avenue Mohammed VI - Rabat.**

Tel : 0537 63 53 77 • Fax : 0537 75 81 71

E-mail : acascitech@academiesciences.ma

Website : <http://www.academiesciences.ma>

**Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Km 4, Avenue Mohammed VI - Rabat.**

Tél : 0537 63 53 77 • Fax : 0537 75 81 71

E-mail : acascitech@academiesciences.ma

Site internet : <http://www.academiesciences.ma>

KINGDOM OF MOROCCO



HASSAN II ACADEMY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Perspectives in Mathematics

Prof. Mahouton Norbert Hounkonnou

Associate Member of the Hassan II Academy of Science and Technology

*Conference given on 30th October 2024
At the Hassan II Academy of Science and Technology
Rabat - Morocco*





His Majesty the King Mohammed VI
The tutelary protector of the Hassan II Academy
of Science and Technology

Professor **Mahouton Norbert Houkonnou**,

- President, Network of African Science Academies (NASAC), (2019 - -)
- Past President, Benin National Academy of Sciences, Arts and Letters, (2021--)
- President, International Chair in Mathematical Physics and Applications (ICMPA-UNESCO Chair), University of Abomey-Calavi, 072 BP 50 Cotonou, Republic of BENIN
- TWAS Research Professor, University of Zambia, P.O. Box 32379, Lusaka, Zambia
Email: norbert.hounkonnou@cipma.uac.bj, (with copy to hounkonnou@yahoo.fr).

I would like to thank the Perpetual Secretary, Academician Omar Fassi-Fehri, and the members of the Board of Directors of our Academy for inviting me as a speaker to attend this conference on “*Perspectives in Mathematics*” as part of the important project to create a centre of excellence in mathematical sciences under the aegis of the Academy. It is a very special honour for me to be here before this august assembly of fellow members of the Academy and members of the Mathematical Community of the Kingdom of Morocco.

A conference of this scale on mathematics, whose impact on development is undeniable, certainly promises a better future for this country and the sub-region that shares the same realities as you. This initiative honours our Academy, which is fulfilling one of its major missions. This mission involves taking on the nation’s major problems, debating them in a spirit of courtesy, plurality of opinions, elevation of spirit, respect for tradition, strength, intelligence, and the wealth of ideas, and coming up with appropriate advice and recommendations that adhere to real, well-thought-out and lasting advances to inspire the right decisions in the authorities and other development players.

Making ourselves useful and acting for the common good, based on deep-seated convictions, is the foundation of our shared moral heritage, which guides us in issuing opinions and recommendations on subjects of general interest or on issues relating to the life of the city, in giving advice and in providing the community with a definite diversity of expertise. In short, we have a wealth of intellectual input that we know how to draw on at the Academy better than anyone else.

In agreeing to take part in this conference in my capacity as President of the Network of African Science Academies, I am here to reassure you that our continent’s leading scientific institution supports our academy in keeping the banner of science high in Morocco and throughout the world.

I deeply appreciate and share this vision. This event is taking place at a crucial time, when the discipline is facing new challenges linked to the development and identification of quality symbols that can serve as a compass for resolving them

Fellow members of the Academy, dear colleagues, distinguished guests,

In response to the dynamics of the material or spiritual needs of man and his surroundings, pure or applied mathematics emerges, interacts with the other natural, human, and social sciences, changes, and develops alongside the various facets of human development worldwide.

In contrast to other disciplines that need highly costly experimental equipment, this is a field of study and research that requires relatively minimal investment. From physical and energy sciences to biology, finance, environmental and climate sciences, health, medicine, agriculture, and economics, as well as the humanities and social sciences, mathematics has an extensive range of applications that it enhances for its own advancement. All contemporary technologies, including electricity, telecommunications, meteorology, and aviation, depend on mathematics.

It helps to predict and understand complex physical phenomena through mathematical modelling, mathematical analysis and digital simulation. Thanks to particularly powerful mathematical tools, it is now possible to produce experiments or objects digitally, before moving on to prototyping and actual production, which are very costly and where the margin of error must be minimal. These tools also make it possible to optimise

transport and communications networks, to understand and control the spread of epidemics, to plan and manage health, economic and social systems using statistics and optimisation, to design electoral systems that better reflect the wishes of the people, to understand the risks of natural origin (floods, earthquakes, hurricanes, etc.) and to prepare for them to avoid disasters.

The trivial questions that might be asked are

- i. What is the importance of mathematics in the history of mankind, from the past to the present, and what impact has it had on the quality of life? Secondly, how did this discipline, which has such a positive influence on all areas of human activity, come into being? How is it evolving in its interactions with our global ecosystem? What does it contribute substantially to other areas of the social, human and natural sciences? How does it interact with other fields of knowledge
- ii. What role will mathematics play in serving the Kingdom of Morocco?

These are just some of the questions we could address in this conference.

1. How might we characterise mathematics?

As many authors would suggest, mathematics is a body of abstract knowledge resulting from logical reasoning applied to various objects such as numbers, shapes, structures and transformations. It is also the field of research that develops this knowledge, as well as the discipline that teaches it. They have several branches, such as algebra, analysis, geometry, mathematical logic and so on. There is also a certain distinction, real or imagined, between pure mathematics and applied mathematics: this debate is not addressed here!

Mathematics, as a science, was developed even before man began to write. To solve problems such as trade, measuring surface areas, predicting astronomical events, etc., man had to equip himself with stable and universal tools, rules and measures created over time and through the evolution of civilisations.

Mathematics differs from the other sciences in that it has a special relationship with reality, in which observation and experience are not limited to physical objects. Mathematics is almost entirely intellectual in nature, based on axioms and postulates or hypotheses. Their development is also closely linked to the history of the mathematicians themselves, to the places where they work, to the ways in which mathematical knowledge is exchanged, written down, shared and circulated, to the history of theories and concepts, to the history of their teaching, to the history of societies and civilisations (social, economic, political, military history, etc.), to the history of the applications and interactions of

mathematics (techniques and technologies, calculation tools, etc.), to the history of ideas and to philosophy. In ancient Egypt and Greece, for example, mathematics *coexisted* with philosophy, music with mathematics, and so on. Interdisciplinarity dominated the sciences.

Mathematics is also the language of nature, or more precisely the language of the philosophy of nature, i.e. of physics. The beginning of this fused relationship between mathematics and physics is often attributed to the work of Kepler and Galileo in the 17th century. This marked an important turning point in the history of science, expressed in Galileo's famous quote: "*Philosophy is written in this vast book that is constantly open before our eyes (I mean the Universe), and we cannot understand it unless we first learn to know the language and characters in which it is written. Now it is written in mathematical language, and its characters are triangles, circles and other geometrical figures, without which it is humanly impossible to understand a single word, without which one truly wanders in an obscure labyrinth.*" (Galileo Galilei, "The Essayist", 1623).

Mathematics and the evolution of human societies

Mathematics has developed along with human needs but has also become independent of them. The relationship between mathematics and development has a long history! If we want to analyse the role and contribution of mathematics to human development efforts, we need to draw a parallel between the evolution of human lifestyles and the history of mathematics. I have no ambition here to give such a historical account, but to briefly retrace in the time allotted to me a characterisation of the human activities that have led to obvious mathematical practices. The first major stage dates back to the period when man lived essentially from hunting and gathering, which may correspond to the first use of natural, relative and rational integers. Indeed, the need to count *individuals*, prey and the products of hunting or gathering led man to invent numbers and the rules of elementary calculation. The birth of mathematics is generally dated to this period. In the beginning, mathematics was calculative: its function was to calculate what we have, what we own or what we want to share.

This would also explain why mathematics courses start with arithmetic

The discovery of agriculture and sedentarisation led man to invent geometry to solve problems of architecture, tools, decoration and so on. Sedentarisation and the management of communal and/or individual farms thus contributed greatly to the development of geometry.

Other branches were developed, such as analysis, algebra, differential equations, etc.

The use of computers to solve geometric problems has given rise to algorithmic geometry, also known as analytical and computational geometry

The real mathematical revolution occurs when mathematics takes an interest in other disciplines, such as biology, which gives rise to biomathematics, geology, which gives

rise to geo-mathematics, control, and so on. Today, the emergence of new mathematics associated with algorithms and supercomputers is paving the way for artificial intelligence, with spectacular applications in all sectors.

Like other disciplines, the evolution of mathematics fits in well with the description given by Michel Serres in *Éléments d'histoire des sciences* (Larousse, 1997, preface, p. 16):

"Far from depicting an aligned sequence of continuous and growing achievements, or the same sequence of sudden breaks, discoveries, inventions or revolutions consigning a suddenly bygone past to oblivion, the history of science runs and fluctuates along a multiple and complex network of paths that overlap and intersect at nodes, summits or crossroads, interchanges where two or more paths branch off. A multiplicity of different times, different disciplines, different ideas of science, different groups, institutions, capital, people in agreement or in conflict, machines and objects, forecasts and unforeseen coincidences all make up a fluctuating fabric that faithfully represents the multiple history of science".

2. How does mathematics impact on the development of social, intellectual, professional, moral, cultural and spiritual capacities? How does it feed into the education system, the economy, the advancement of science and technology, agriculture, etc.?

At a recent conference on mathematics and the social sciences, I defined mathematics as a discipline that plays a key role in our modern civilisation, as a tool for understanding and making society work and as the heir to a tradition rooted in many of the world's ancient cultures. Mathematics is used to study the universe, systematise experiments and describe and understand relationships in nature and society. The pleasure derived from working in this discipline is in itself a source of inspiration for its own development in the service of humanity. In this way, mathematics plays an important role not only in understanding the progress of society, but also in developing it. So, if we look closely, as described above, mathematics plays an undeniable role in all our lives. To live a social life, mathematical knowledge is necessary. The change in social structure that includes modern facilities such as transport, means of communication and advances in science and technology is essentially due to mathematics.

Mathematics teaching and intellectual development

Teaching mathematics is very important for intellectual development. There is no subject in the school curriculum that activates students' brains better than mathematics. Solving mathematical problems helps to develop mental faculties and mental work is required to solve mathematical problems. When children are faced with a mathematical problem, their brains are activated to try and solve it. Each mathematical problem involves a succession of actions that are necessary to develop the spirit of construction and creativity. In this way, all the child's mental capacities are developed through mathematics.

What's more, mathematics makes people very calculating, which saves them time, money, words, thought and so on. It develops a strong will, patience, autonomy and the ability to discover and invent.

Mathematics helps prepare students for technical occupations such as engineering, architecture, accountancy, banking, business, agriculture, sewing, carpentry, surveying, office work, etc. where mathematics is applied.

Mathematics contributes to the moral development of pupils, by developing their character and personality. It develops all those qualities that a person of strong character should possess, including cleanliness, orderliness, reality, organisation, and so on.

Mathematics also helps to develop thinking skills in children and adults, and possibly, for the most receptive, a sense of the beauty of a solution. Solving mathematical problems is fun, especially when you get the answers right. At that point, every child feels satisfied, confident and independent. The aesthetics of an elegant solution is something fantastic that fills you with wonder and plunges you into an unbelievable dream that cannot be perceived by someone who hates maths. Children draw on sources of encouragement, satisfaction and happiness to achieve increasingly remarkable results. Mathematics helps to develop their aesthetic sensibility, responds to their various interests and helps them to make good use of their free time. It makes them dream, and without dreams there is no life!

Mathematics contributes to the development of civilisation and culture. It enables us to understand the fine arts and the beauties of life. Here I refer you to the works of a great African ethno-mathematician, the late Professor Paulus Gerdès from Mozambique.

Mathematics has its own intrinsic beauty and aesthetic appeal, but its cultural role is mainly determined by the way it is perceived. Mathematical achievements and structures are recognised as among the greatest intellectual achievements of the human species.

The strong dependence of mathematics on logical reasoning is an asset in a world where rational thinking and behaviour are highly valued. In addition, the potential for sharpening the mind and problem-solving skills fostered by mathematical knowledge contributes significantly to the general aims of acquiring wisdom and intellectual capacity in humans.

Mathematics and mathematicians

Recently, in a collective book (M. N. Hounkonnou *et al*, 2023), we wrote: “*the relationship between mathematical matter and a devotee of the discipline is akin to an erotic relationship between two beings who never stop discovering each other in endless new desires. This active presence of continuous links between the material and its devotee takes us beyond the limits of physical obsession and provokes a constant thirst and desire to encounter and discover new ideas, even within old works whose contours may sometimes seem already sufficiently exploited. The quest for the new in one's work, the pleasure of even tackling subjects that have already been explored by*

lifting hypotheses in order to move towards a certain generalisation, and the joy and even wonder of drawing new conclusions from them create extraordinary sensations in us that cannot be described in any language other than that of mathematics itself. These feelings always push us towards more mathematics, just like a child who is given milk chocolate that he likes, with the possibility that he can help himself at will from the chocolate box in front of him. The difference between the two processes is that the mathematical chocolate box is infinite compared to the finite volume of the chocolate box offered to the child. There is a kind of deep dialogue of infinite interest between the mathematician and his subject, a kind of mad but true love that binds them inseparably, that no one who is not a professional mathematician can understand. Basically, such an interaction does not arise spontaneously, but gradually takes hold to the point where the protagonists are drawn into a relationship of no return. A relationship of loyalty is irreversibly established, constantly nourished by new readings, re-readings, contributions, constructions, deconstructions, discussions, etc. that are as enriching and exciting as they are amusing and exciting. On this journey, mistakes are made, even more often than you might think, but they are more enriching than successes and provide the impetus for further progress and understanding. Each new result generates a new problem, and beyond that may reawaken an old problem, either already solved but with crude hypotheses, or previously classified as difficult to solve for lack of appropriate established tools. This way of ploughing and re-ploughing the mathematical soil has, since ancient times, given it utility, fertility, beauty and human admiration”, end of quote.

Mathematics, science and technology

In the education system, mathematics plays an important role in training young people for the future. All subjects taught at school and university, such as physics, chemistry, life sciences, economics, business and accountancy, geography, history, psychology, architecture, design, computing, statistics, commerce, etc., are accompanied by the teaching of mathematics. In the professions of beautician, sportswoman, farmer, etc., mathematical knowledge is just as necessary. Even professions such as conductors, shopkeepers, drivers, musicians, magicians, cashiers, etc. use basic mathematical concepts.

Mathematics is the essential foundation of economics. It is prominent in the physical sciences, technology, business, financial services, ICT, biology, medicine and the social sciences. Mathematics underpins scientific and industrial research and development. Increasingly, many of the complex systems and structures of the modern world can only be understood with the help of mathematics. Much of the design and control of high-tech systems depends on mathematical inputs and outputs.

The *functional* aspect of mathematics derives from its importance as the language of science, technology and engineering, and its role in the development of these fields. This implication is as old as mathematics itself, and it can be argued that without mathematics there can be no science or engineering. In modern times, the adoption of mathematical methods in the social, medical and physical sciences has grown rapidly, making

mathematics an indispensable part of all school and university curricula, with a growing need for mathematical and statistical modelling of phenomena. Such modelling, which underpins all engineering, plays a vital role in the physical sciences and contributes significantly to the biological sciences, medicine, psychology, economics and commerce.

Mathematics is widely applied to agriculture, ecology, epidemiology, tumour and cardiac modelling, DNA sequencing and gene technology. It is used in the manufacture of medical devices and diagnostics, as well as in sensor technology.

Because of its fundamental nature as a universal abstract language and the foundation of science, technology and engineering, mathematics claims a status that is intrinsically different from that of most other disciplines. It is omnipresent in our lives. Indeed, mathematics today has gone far beyond the notion that only logical and formal facts are mathematical. It is part of nature itself. As Galileo wrote: *Philosophy is written in this immense book that is always before our eyes, I mean the Universe, but we cannot understand it unless we first try to understand its language and know the characters with which it is written. It is written in mathematical language, and its characters are triangles, circles and other geometric figures, without which it is humanly impossible to understand a word of it. Without them, it is a vain wandering in an obscure labyrinth*” (Galileo, quoted by Chauviré, 1980: 141).

The man who devotes his life to the development of mathematics is therefore a builder of the present and the future.

3. What role will mathematics play in the future?

Mathematics is like the sea. To paraphrase Jamie McKinstry (Jamie McKinstry: Floating Ideas: Memory and Sea in Medieval Romances; in *The Sea in the Literary Imagination: Global Perspectives*, B. P Robertson, E. V. Kobeleva, S. W. Thompson, K. D. Weddle (Eds), Cambridge Scholars Publishing, 2019):

“The sea is full of literal and symbolic paradoxes... Our reflections on the sea go beyond interpreting the body of water itself. In fact, the sea gives us the freedom to project our own thoughts into and onto this immense space. The sea gives us time to think about ourselves in terms of where we have been, where we are now and where we might go.

In his book “Pour une mathématique au service du développement de l’Afrique””[Pour une mathématique au service du développement de l’Afrique](#)”, Christophe Fotso writes: “*While it is true that any science develops at the frontiers of other disciplines before becoming part of a philosophy, mathematical research today is so abundant that it would be presumptuous to claim to have identified the whole history of its development, to give an overview of recent progress, to outline the major trends of its future...”*.

Nevertheless, a number of factors point to a positive outlook for the mathematical sciences in the life of our rapidly expanding societies, as a challenge for the sustainable development of societies. To give a non-exhaustive but eloquent picture, let us note the extent of climate change phenomena in recent years, which makes it necessary to

set up systems for monitoring and protecting the natural environment. What scientific disciplines other than mathematics are capable of providing data based on predictions, calculations of possible effects and projections to mitigate the impact of coastal erosion, rising sea levels and fisheries management, all of which are major challenges for the economic development of our countries? Studying and understanding these phenomena requires increasingly sophisticated mathematical tools.

Today's world is experiencing the effervescence of data science at the heart of the ongoing techno-scientific revolution dominated by robotics and artificial intelligence.

The International Mathematical Union (IMU), with the support of UNESCO, has rightly declared the year 2000 World Mathematical Year (UNESCO, 2019)^[14]. Building on the achievements of this World Mathematical Year, UNESCO proclaims 14 March each year as International Mathematical Day. The aim of this day is to raise awareness of "*the place of mathematics in science, technology and innovation, and the role of its applications in promoting education, improving the quality of life in the world and achieving the Sustainable Development Goals*" (UNESCO, 2019: 2).

Major trends in mathematics

The scientific fields and subjects considered to be the most dynamic (CNRS, 1992; Greenwald & Thomley, 2012) include static physics, algebraic geometry, neural networks, complexity theories (complexity of computation and algorithms, discrete mathematics), work on the unexpected relationship between quantum chaos and the Riemann hypothesis, chaotic phenomena, from turbulence to in a gas, the use of gauge theory from particle physics in the topology of differential varieties of dimension four, which seem to be closer to complex varieties than to real varieties, the application of operator algebras to the theory of knots, the use of concepts from quantum field theory in the analysis of varieties and various geometric and topological domains, to name but a few that continue to drive the discipline. But the mathematical orientations are essentially imposed by the nature of the problems, both fundamental and applied, requiring exact or non-exact solutions.

As we pointed out in the first part of this lecture, there is a mutually beneficial interaction between mathematics and other scientific disciplines. In quantum mechanics, a particle is a representation of the notion of group; gravity in relativity theory is a geometric property of space-time. Certain mathematical results can be demonstrated through physics, particularly in geometry and topology. Twenty years ago, the mathematician and physicist Witten succeeded in finding some quite remarkable topological properties in quantum field theory, without any exclusively mathematical demonstration, but simply on the basis of a physical intuition.

Other dominant mathematical theories include: the theory of decidability in universal algebra, and the theory of computational complexity, which deals with *effective* mathematics in which the objects we manipulate are constructed by algorithms (finite sequences of instructions). Discrete mathematics, for its part, was born and developed

for these purposes. Here, we are no longer interested in mathematical properties in general, but in properties that can be written with a finite number of symbols in a finite amount of time. They are much more closely linked to machines such as computers, which are capable of processing a mass of information.

Main sectors with high mathematical implications

Mathematics is constantly evolving and influencing many scientific, technological, economic and social fields. As global challenges become more complex and technologies advance, mathematics opens up fascinating prospects for the future, as a discipline that constantly renews itself and is enriched by contact with society and other fields of knowledge.

Problems in the environmental sector, botany, chemistry, geography, toxic waste treatment, the rate of degradation of the ozone layer and its effects on flora and fauna, managing the problems of urbanisation, reducing the effects on flora and fauna, the dynamics of melting ice, measuring variations in precipitation, epidemics, health, optimal control over the management and stabilisation of a structure, scientific computing with computer-based non-destructive testing in the automotive industry, wavelet theory in the oil industry, signal processing in telecommunications, kriging in geostatistics, reservoir simulation in the oil industry, energy production, aeronautics, pharmaceuticals, insurance, banking, finance, management control or inspection, risks associated with a business contract, sales campaign, new product launch, etc., will require more mathematical resources to resolve them. Let's take a brief look at some of the relevant sectors.

Mathematics and Artificial Intelligence

Mathematics will continue to play a key role in the development of artificial intelligence (AI), machine learning and deep learning. Optimisation, advanced statistics, linear algebra and graph networks are already at the heart of AI models, and new branches of mathematics are expected to emerge to deal with more subtle aspects of AI, such as the explicability and interpretability of models. Mathematics and artificial intelligence are developing techniques such as the construction of expert systems to serve other disciplines more effectively. New tools, essentially computer-based, are now accompanying humans in their various daily activities. These include not only encyclopaedias, but above all mathematical tools such as algorithms and applications to help machines *reason*. These technological innovations, known globally as *e-services*, are distinguished in their names by the prefixes *e-* for electronic, *i-* for intelligent or *m-* for mobile, which generally precede their names. Thus we have *e-mail* (electronic mail), *e-health* (telemedicine), *e-voting* (electronic voting), *i-voting* (Internet voting or online voting), *e-commerce* (electronic or online commerce), *e-business*, *e-government* (online administration), *e-book* (electronic book), *m-learning* (to make studying easier for learners, who will now be able to access libraries electronically), *m-voting* (mobile phone voting), *e-whiskers* or *e-moustaches* (sensors that can enable robots to move in

environments with obstacles), *e-profile* (online behaviour or image). In short, *e-services* for an *e-society*.

Furthermore, with the increasing adoption of algorithms in society, mathematics is playing a role in the design of fair, transparent and *ethical* AI models. Concepts such as fairness, interpretability and causality have become important research topics for designing systems that respect human values and users' rights.

Game theory provides a better understanding of strategic decisions in environments where intelligent agents interact. It also helps to model ethical and fair choices in artificial intelligence contexts.

The advent of quantum computers should offer new computing capabilities, particularly for machine learning algorithms. Quantum mathematics, with concepts such as Grover's and Shor's algorithms, plays a key role in the development of these technologies and requires new mathematical models to fully exploit the potential of quantum AI.

Mathematics, biology and life sciences

Mathematics is increasingly used to model complex biological systems, such as cell behaviour, brain function and ecosystems. Fields such as mathematical biology and biomathematics, which use differential equations, network theories and advanced statistical models, are essential for understanding dynamic and chaotic systems in biology.

Genomic data analysis and bioinformatics are booming. Statistical mathematics, optimisation and machine learning algorithms are being used to analyse large quantities of genetic data, paving the way for personalised medicine and disease prediction.

Climate modelling and meteorology

Modelling climate systems is based on complex mathematics, in particular partial differential equations, dynamical systems and numerical simulations. Mathematics will make it possible to improve climate models to better predict climate evolution and the impact of climate change.

Optimising resources and energy

Optimisation mathematics plays a crucial role in natural resource management and energy efficiency. Mathematical models can be used to optimise energy distribution networks, design efficient renewable energy systems and minimise resource consumption.

Post-quantum cryptography

Quantum computers will have a major impact on cryptographic systems. Mathematics is therefore essential for developing post-quantum cryptography algorithms capable of withstanding the computing power of these new types of computer.

Information theory and compression

With the massive increase in data production, information theory and the mathematics of compression play an essential role in the transmission, storage and analysis of data, whether for the Internet of Things, telecommunications or social networks.

Mathematics and social sciences

Mathematics plays a central role in financial market modelling, risk management and economic analysis. Financial mathematics is evolving to incorporate behavioural decision-making models, stochastic simulations and machine learning algorithms to improve risk forecasting and asset management.

With the rise of social networks, mathematics can be used to model human interactions and analyse group dynamics. Fields such as graph theory and network modelling are essential for understanding social influences, the propagation of information and collective behaviour.

Complex systems and chaos sciences

The understanding of complex systems, such as the climate, financial markets or biological networks, is based on the theory of dynamic systems. The mathematics of chaotic systems provides a better understanding of the sensitivity of these systems to initial conditions and their unpredictable behaviour.

In fields such as *swarm* robotics or the modelling of insect or bird behaviour, mathematics is essential for understanding and predicting the collective behaviour and self-organisation of agents.

Fundamental mathematics

All these multiple applications flow naturally from fundamental mathematical theories, which develop through the construction of new tools, new quantitative and qualitative properties, and the deepening and refinement of pure knowledge, by means of investigation, invention and abstraction

Areas such as algebraic topology and differential geometry, which are branches of fundamental mathematics with applications in fields as varied as theoretical physics, neural networks and data analysis, will develop further in the future. Algebraic geometry and theories of high-dimensional spaces are already opening up prospects for modelling complex data spaces.

Current machine learning models are often limited by correlation relationships. Causality is a mathematical domain that allows the discovery of causal relationships, which is essential for applications in medicine, where it is crucial to understand the underlying causes of observed phenomena.

Fundamental mathematics will be a central pillar of innovation in AI, as it will enable more efficient, robust, interpretable and *ethical* models to be built. As AI technologies diversify, mathematics will have to respond to increasingly complex and sophisticated challenges, contributing to the emergence of new disciplines and the evolution of existing methodologies. This symbiosis between mathematics and AI promises a future rich in discoveries and technological transformations.

Understanding AI models (often referred to as “black boxes”) is a challenge. Mathematics, in particular functional analysis and sensitivity methods can make models more transparent and understandable to end users.

Number theory remains an essential branch of cryptography. With advances in quantum cryptography and growing needs in cybersecurity, this theory and the mathematics of information systems security continue to attract major interest.

In conclusion,

The prospects for mathematics are varied, multidimensional, plural and multisectoral. Whether in response to technological, climatic, economic or social challenges, mathematics will remain a central pillar of innovation and understanding of our universe. Evolving societal and technological needs will continue to drive the emergence of new branches of mathematics, while deepening traditional fields. The future of mathematics therefore lies as much in practical application as in theoretical exploration, in the vast ocean of innovation, interdisciplinarity and rigour.

In short, mathematics will continue to govern the entire ecosystem of human society and its activities, determining the nature and content of their development.

4. What is the vision for an institute of excellence in the mathematical sciences under Morocco’s Hassan II Academy of Science and Technology?

A country's degree of development is measured to a very large extent by its mastery of the basic sciences and technologies, and this criterion is so implacable that the presence of enormous wealth in its subsoil does not considerably alter a country's ranking (predominance of white gold over black gold, green gold, yellow gold, etc.). (Bitjong Ndombol, quoted by Dutertre & Békollè, 2001: 40).

The Hassan II Academy of Science and Technology, under the leadership of its Perpetual Secretary, Brother Omar Fassi-Fehri, has understood this lesson well, which justifies the vision adopted of creating an institute of excellence in science open to the international community with the aim of federating talents for mathematical research of excellence focused on contemporary priorities involving both fundamentals and applications in order to maximise the impact of mathematical sciences on emerging sciences and technologies for the benefit of society.

This approach should fit in perfectly with the High Directions of His Majesty King Mohammed VI, may God assist him, to ensure that the Kingdom of Morocco plays its rightful role in the regional and international arena.

Sisters and Brothers, there are several reasons for creating the Academy's Institute for Excellence in Mathematical Sciences.

Overall

It has been proven that

- Mathematics aims to turn human beings into free beings, gifted with a critical mind, capable of deconstructing and constructing the architecture of society. The rigour of logical reasoning imparted by the teaching of mathematics frees the individual from irrationality and prepares him or her to think deeply and question his or her life and environment;
- Mathematics is part of human culture, as a field that equips each individual with the ability to find solutions to the problems of his or her environment, and to the challenges of humanity and its ecosystem at local and global level
- mathematics feeds into all the other fields of knowledge, through the logic that characterises it, and develops further through the needs and the fruit of the many interactions that it builds with these fields ;
- Ultimately, they are one of the main keys to development.

In short, human society is mathematical in a universe that is itself profoundly mathematical.

In specific terms

- provide a solid foundation for the development of the mathematical sciences at national and regional level;
- capitalise on the achievements of the development of the mathematical sciences in Morocco and elsewhere to perpetuate a tradition of excellence in the field at national and regional level;
- Make Morocco a magnet for the best mathematical researchers in the country, on the continent and in the diaspora;
- to realise a long-held dream of building an African institute of excellence in the mathematical sciences as a framework for training generations of young African mathematicians who are conquerors, battle-hardened in international competition, and potential candidates for the most prestigious awards in mathematics, such as the *Fields Medal* and the *Abel Prize*;
- Finally, to celebrate in the noblest possible way the Kingdom's and Africa's rich mathematical heritage and the undeniable contribution of Moroccans and Africans to the development of mathematics.

Development of expertise and socio-economic spin-offs

The creation of an institute of excellence in the mathematical sciences in Morocco would offer a number of advantages:

Development of local knowledge and expertise: such an institute would attract Moroccan and international researchers, enabling the development of local expertise in a variety of cutting-edge mathematical fields, such as quantitative finance, probability, analysis and other branches of applied mathematics.

Advanced student training: by integrating doctoral and research programmes, the institute could train Moroccan students and prepare them for international standards, offering them opportunities to contribute to major research projects and enhance their employability.

Contribution to the economy: the applications of mathematics in sectors such as finance, engineering, artificial intelligence and telecommunications are vast. A research institute could play a major role in economic development by providing mathematical solutions to practical problems encountered in many fields.

International attractiveness: a high-performance institute of excellence in mathematics could attract talent and international collaborations, putting Morocco on the map of countries with advanced research centres in the sciences.

Source of innovation: mathematical research, which drives technological innovation, would contribute to an ecosystem where innovation is encouraged, which could have a positive impact on other areas of research and industry.

Finally, this institute will strengthen Morocco's position in scientific research and higher education at national and international level.

5. What lessons from the history of centres of reference in the mathematical sciences can be applied to this initiative

History gives us some useful pointers to what works well when it comes to mathematical science centres.

The Princeton Institute and the Institute des Hautes Etudes Scientifiques (IHES) are both examples of highly reputable institutes where the initial decision was to find exceptional talent and bring them together in one place as permanent professors or researchers. This was followed by seminars and a stream of visitors.

These two benchmark institutions have understood that the **cohabitation of theoretical physics and mathematics** makes it possible to build a rich and fertile intellectual framework.

Ultimately, what makes an institute work well?

Many things certainly, but in particular talent, the ability to attract talent, a pleasant

campus, a stimulating environment, the feeling that important work is being done there, visitor funding, effective seminar programmes, etc.

What are the recurring problems to be resolved?

*How can the best talents be persuaded to become permanent professors or researchers?
How can they be funded? How do you define the minimum number?*

Princeton started with 6, of course, and that seems to be a good number.

How can you finance a flow of visitors? How do you create seminar series that attract top talent?

If we can find six top mathematicians and the necessary funding, the rest will probably follow.

When all is said and done, the “*basic formula*” for success seems quite simple to follow. The main challenge, of course, is finding people and money. China solves the talent problem by *bombarding them with money*. This is by no means a new solution, of course. All the major powers are doing the same thing.

Grey matter is a product of the international market and is offered by those who can afford it.

Thank you very much.

References

1. J. D. Adams , G. C. Black , J. R. Clemons c, P. E. Stephan, Scientific teams and institutional collaborations: Evidence from U.S. universities, 1981–1999, *Research Policy* Vol. 34, Issue 3, 259-285, (2005).
2. C. Chauviré, *L'essayeur de Galilée*, Annales littéraires de l’Université de Besançon, Les Belles Lettres, Paris, (1980) ; Galileo Galilei, *Il Saggiatore* (1623).
3. M. Serres, *Éléments d'histoire des sciences*, (Larousse, préface, 16, 1997)
4. M. N. Hounkonnou, D. Martinovic, M. Mitrovic, P. Pattison, editors, *Mathematics for social sciences and arts: Algebraic modelling*, (Mathematics in Mind, Springer, 2023).
5. David Békollè, (Galilée, cité par Chauviré, 141, 1980) dans la Préface au livre de C. Fotso, *Pour une mathématique au service du développement de l'Afrique*, (esbe-Editions science et bien commun, 2020).
6. J. McKinstry: *Floating Ideas : Memory and Sea in Medieval Romances* dans *The Sea in the Literary Imagination : Global Perspectives*, B. P Robertson, E. V.

Kobeleva, S. W. Thompson, K. D. Weddle (Eds), (Cambridge Scholars Publishing, 2019).

7. C. Fotso, *Pour une mathématique au service du développement de l'Afrique*, (esbc-Editions science et bien commun, 2020).
8. Voir <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000265647>.
9. CNRS, 1992; Greenwald & Thomley, 2012. Cf réf. 7.
10. J. Dutertre, J., & D. Békollè, Mathématiques et développement en Afrique, Le Jaune et le Rouge, n° 565, 40, (2001) ; <https://www.lajauneetlarouge.com/mathematiques-et-developpement-en-afrique/>.
11. Private communication privée with colleagues Youssef Ouknine, Omar El Fallah, (Morocco), Jean Pierre Bourguignon, (France), Philip Bond (England); cf. P. Bond, *An independent review of knowledge exchange in the mathematical sciences*, facilitated by the Engineering and Physical Sciences Research Council and the Knowledge Transfer Network.