Bulletin d'Information de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

n°29
juin 2021

«Servir le pays et contribuer au développement de la science mondiale»
Sa Majesté Le Roi Mohammed VI.
(Extrait du discours d'installation de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, 18 mai 2006)

- Projets de recherche sur "Covid-19" financés par l'Académie - État d'avancement

- Maladies infectieuses et menace de pandémie. Quel agenda pour l'Afrique? (D. Ouazar)

- Intelligence artificielle: mythes et réalités (R. Guerraoui)

- Le débat public et le modèle de développement (R. Taouil)

- Systèmes solaires passifs de rafraîchissement des bâtiments (B. Benhamou)

Périodique semestriel d'information et de communication de l'Académie

© Hassan II Academy Press

© Hassan II Academy Press

Dépôt légal : 2007 / 0067
ISSN : 2028 - 411X

Réalisation : AGRI-BYS S.A.R.L

Impression : Imprimerie LAWNE
11, rue Dakar, 10040 - Rabat

Bulletin d'Information de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

n°29

juin 2021

«Servir le pays et contribuer au développement de la science mondiale»
Sa Majesté Le Roi Mohammed VI.
(Extrait du discours d'installation de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, 18 mai 2006)

Périodique semestriel d'information et de communication de l'Académie

Publié par :

L'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

Siège : Km 4, Avenue Mohammed VI (ex Route des Zaers) - Rabat.
Tél : 0537 75 01 79 Fax : 0537 75 81 71 E-mail : acascitech@academiesciences.ma

Site internet : www.academiesciences.ma

Directeur de la publication : Omar FASSI–FEHRI

Rédacteur en Chef : Mohamed AIT KADI

Comité de rédaction :

Daoud AIT KADI (Collège de la Modélisation et de l'Information)
Omar ASSOBHEI (Collège des Sciences et Techniques de l'Environnement, de la Terre et de la Mer)
Mohamed BERRIANE (Collège des Etudes Stratégiques et Développement Economique)
Ali BOUKHARI (Collège d'Ingénierie, Transfert et Innovation Technologique)
El Mokhtar ESSASSI (Collège des Sciences Physiques et Chimiques)
Abdelaziz SEFIANI (Collège des Sciences et Techniques du Vivant)

Avertissement
Les opinions exprimées dans cette publication sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement celles de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

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

Sommaire

Editorial 9

Projets de recherche sur "Covid-19" financés par l'Académie - Etat d'avancement 11

- Pôle de recherche biomédical, S. NADIFI, K. FILALI-MALTOUF 13
- Pôle de recherche technologique, A. BOUKHARI 19
- Pôle de recherche modélisation, D. OUAZAR, O. EL FALLAH, Y. OUKNINE 36

Synthèse du 3ème Congrès scientifique de l'ASRIC 49

- «Maladies infectieuses et menace de pandémie. Quel Agenda pour l'Afrique ?» D. OUAZAR 51

Conférences 53

- «Discours de Monsieur le secrétaire perpétuel à l'ouverture du cycle de conférences «Innovation & questions du temps présent»» 55
- «Présentation de la première conférence du cycle par Monsieur le secrétaire perpétuel de l'Académie Hassan II» 57
- «Intelligences artificielles : mythes et réalités», R. GUERRAOUI 59

Focus 73

- «Le débat public et le modèle de développement», R. TAOUIL 75

Appui à la recherche scientifque et technique 83

- «Systèmes solaires passifs de rafraichissement des bâtiments», B. BENHAMOU 85

Publications "Hassan II Academy Press" 99

- «Devonian to lower carboniferous stratigraphy and facies of the South-Western Moroccan Meseta: Implications for paleogeography and structural interpretation». "Frontiers in Science and Engineering, Vol. 10, N°2 et *Addendum* 101
- «Alimentation-Nutrition», M. ESSATARA & A. TANTAOUI ELARAKI 102

Acquisitions de la Bibliothèque de l'Académie 103

Nouvelles des académiciens 113

- Rajaâ CHERKAOUI EL MOURSLI nommée membre du Conseil scientifique de la Biennale de Luanda 115
- Mohamed BERRIANE nommé membre de la Commission scientifique spécialisée 4 de l'IRD 117
- El Mokhtar ESSASSI élu président des Premières Journées Scientifiques de Chimie Maroco-Ivoiriennnes organisées sur le thème «La chimie au service du développement» 118
- Claude GRISCELLI, «L'enfant sans défenses. La vie passionnée d'un grand pédiatre», paru aux éditions humenSciences 119
- Rajaâ CHERKAOUI EL MOURSLI dans le TOP 50 des meilleurs scientifiques du monde selon le classement américain AD Scientific Index 120
- El Mokhtar ESSASSI et son équipe publient un article sur la conception et la synthèse de nouveaux composés aux propriétés thérapeutiques, pharmacologiques et biologiques potentiels 121

Editorial

L'appel à la mobilisation, à l'effort national de solidarité et d'entraide auquel Sa Majesté Le Roi – que Dieu Le Protège – a invité le peuple marocain pour qu'il se mobilise face à la pandémie du coronavirus «Covid-19», a conduit l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques à une mobilisation prompte et concrète. Plusieurs communiqués[1] ont été diffusés, dans lesquels l'Académie rappelle son soutien total et sans réserve à toutes les mesures prises sour la conduite de Sa Majesté Le Roi Mohammed VI – que Dieu L'assiste –, sur les plans scientifique, technologique, médical, sanitaire, social et économique pour faire face à la pandémie Covid-19.

L'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a contribué à cette mobilisation générale du pays en encourageant au sein de la communauté scientifique marocaine des travaux de recherche sur la Covid-19 permettant de mieux connaître sa nature, son évolution et son traitement.

Un budget de 10 millions de DH a été dégagé et un réseau mis en place pour faire face à la pandémie, avec un programme de recherche comprenant trois pôles: un pôle biomédical, un pôle technologique et un pôle modélisation. La mise en place de ce réseau de recherche a mobilisé, dans un esprit de complémentarité et d'échange, des chercheurs de plusieurs institutions universitaires et de centres de recherche à travers le Royaume. Les thématiques de ces trois pôles couvrent :

1. L'aspect "médical" dans les pandémies (notamment Covid-19) : génomique et variabilité génétique du SARS-CoV-2, physiopathologie et épidémiologie clinique et moléculaire de la pandémie Covid-19 (axes cliniques, axes immunologiques et génétiques). Le Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique (CNRST) coordonne cette action;
2. L'aspect "technologique" dans la bataille contre le virus Corona: fabrication et production d'appareils utilisés dans le traitement comme les respirateurs artificiels, des kits pour des tests de diagnostic et de dépistage, des kits électroniques de surveillance à distance, etc.
3. L'aspect "modélisation mathématique et intelligence artificielle" au service de la lutte contre la Covid-19, associant plusieurs institutions : Université Mohammed V de Rabat, Université Euro-Méditerranéenne de Fès, École Centrale de Casablanca et Université Internationale de Rabat.

Au-delà des résultats obtenus par ce réseau face à la pandémie Covid-19, sa mise en place aura permis d'asseoir l'esprit, les méthodes de travail collaboratif et la mutualisation des moyens humains et matériels pour faire face à toute sorte de pandémie future.

Direction des Sciences

1- 5 communiqués ont été diffusés au total (voir Bulletin «Spécial Covid-19» édité en juillet 2021).

Projets de recherche sur "Covid-19" financés par l'Académie

État d'avancement

Etat d'avancement des projets du pôle biomédical

Pr. Sellama NADIFI [1] & Pr. Karim FILALI MALTOUF
Collège Sciences et Techniques du vivant

PRÉAMBULE

L'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a organisé, le 14 Juin 2021, une session ordinaire pour suivre et discuter l'état d'avancement des projets de recherche qu'elle a soutenus sur la Covid-19[2].

En effet, convaincue que la recherche biomédicale pourrait contribuer à mieux comprendre les énigmes et les péripéties de la pandémie, l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, a été la première, dès le mois de Mars 2020, à initier la mise en place d'un consortium national, regroupant des médecins-cliniciens, des épidémiologistes et d'éminents chercheurs, appartenant à des structures nationales (CHU[3], IPM[4]; INH[5], CNRST[6], Hôpital militaire, cliniques privées…). Une dynamique de concertation et de réunions, entre le Collège Sciences et Techniques du Vivant de l'Académie et le consortium a ainsi abouti à asseoir une approche intégrative permettant de mieux mutualiser les compétences humaines et le savoir-faire.

Pour mieux comprendre les aléas scientifiques de la présente pandémie Covid-19 et aider à mieux faire face à toute autre pandémie dans le futur, l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a accordé au dit consortium, dès la fin Juillet 2020, un appui financier autour d'un projet fédérateur intitulé : «***Covid-19 au Maroc : Investigations Innovantes et Intégrées pour l'élaboration de tests de diagnostic, de dépistage et de traitements adaptés***».

ETAT D'AVANCEMENT ET ACTIVITES DU CONSORTIUM

Après présentation de l'état d'esprit du projet ainsi que son architecture globale par Pr. Nadifi Sellama la Directrice du Collège Sciences et Techniques du Vivant; les résultats et l'état d'avancement ont été présentés par les chercheurs et coordinateurs des axes de recherche selon le programme en attaché. Nous présentons ci-dessous une brève synthèse des résultats obtenus et publiés.

Quatre axes ont été retenus dans le Pôle de Recherche Biomédicale sur la Covid-19 :

- **La Génomique de l'agent infectieux (Virus SARS-CoV-2 [7]),**
- **La prédisposition génétique à l'infection de l'hôte,**
- **L'immunité de l'hôte,**
- **L'épidémiologie de la maladie.**

Le consortium, tel qu'il a été présenté par le coordinateur pricipal, est constitué de 70 chercheurs appartenant à une dizaine d'institutions (Universités, Centres hospitaliers de recrutement des patients Covid-19, Centres de recueils d'échantillons, Centres de dépistages, Instituts de recherche, Cliniques privées). Il implique aussi des étudiants : 10 en Doctorat, 10 en Master et 2 post-doc.

I- ÉTUDE DE LA GENOMIQUE DU VIRUS SARS-CoV2 CIRCULANT AU MAROC

Coordinateur : Pr. Elmostafa El Fahime (Plateforme Génomique des UATRS [8]/CNRST)

1- Directrice du Collège Sciences et Techniques du Vivant.
2- Covid-19 : Coronavirus disease 19.
3- CHU : Centre Hospitalo-Universitaire.
4- IPM : Institut Pasteur du Maroc.
5- INH : Institut National d'Hygiène.
6- CNRST : Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique.
7- SARS-CoV-2 : Syndrome Aigu Respiratoire Sévère lié au Corona Virus typ 2.
8- UATRS : Unité d'Appui Technique à la Recherche Scientifique.

Institutions Partenaires : (UATRS, CNRST IPM, LRAM[9], CVMIT[10]/HMIMV[11], CHU Rabat, DELM[12])

OBJECTIFS : Le séquençage génomique du virus est une étape cruciale dans la lutte contre la pandémie de Covid-19, c'est grâce au séquençage qu'il a été possible d'identifier rapidement le SARS-CoV-2. Connaître la séquence du génome a permis un développement rapide des tests de diagnostic et d'autres outils de riposte. Le séquençage continu du génome permet aux autorités sanitaires, aux gouvernements et aux chercheurs de surveiller l'évolution de la Covid-19 et d'adapter la riposte en conséquence.

PRINCIPAUX RESULTATS

Pour étudier la structure génomique et protéomique du virus, deux approches ont été utilisées par l'équipe du Pr. EL FAHIME, responsable de la plateforme génomique fonctionnelle, des UATRS relevant du CNRST :

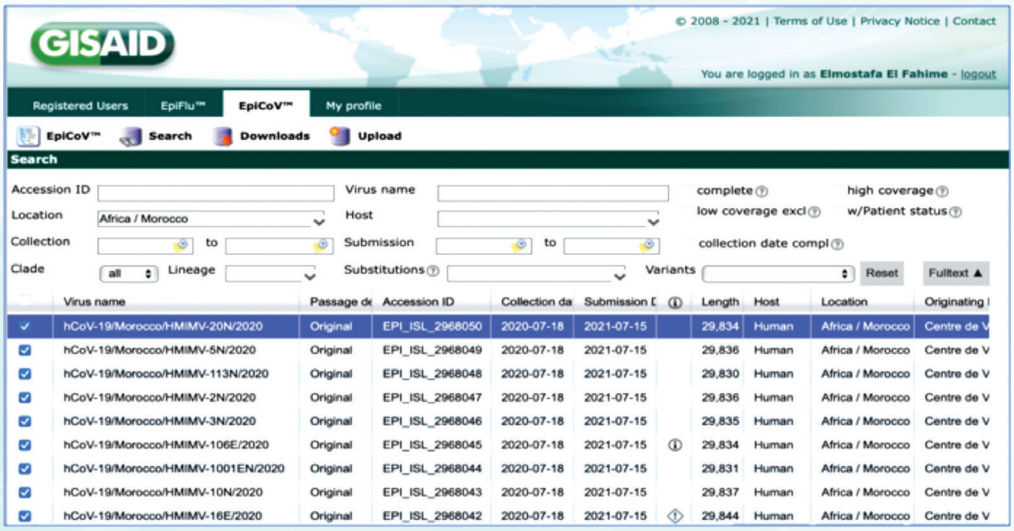
- Le séquençage du génome complet des virus SARS-CoV-2 circulant au Maroc par NGS[13];
- Le séquençage ciblé du gène S par la méthode Sanger.

1. Génome de Référence : Publication N1

Séquençage du 1er virus collecté pendant la première vague épidémiologique en Mars 2020, publié dans la revue «Genome Announcement de l'American Society of Microbiologie. Ce génome sert actuellement de référence initiale pour les souches SARS-CoV2 circulant au Maroc.

2. Surveillance génomique et contributions à l'effort international

Séquençage de plus de 150 génomes par la technologie NGS et publication de 74 génomes complets des virus SARS-CoV-2 dans la base de données internationale (GISAID[14] : Global Initiative on Sharing Avian Influenza Data). La structure GISAID qui a été créée pour collecter les données génomiques de la grippe, est maintenant impliquée dans la collecte de données sur le SARS-CoV-2. Cette structure (www.gisaid.org) permet une protection de la propriété intellectuelle. Le Pr. EL FAHIME a signalé que pour la communauté scientifique internationale, il est crucial d'avoir accès à toutes les séquences du virus Covid-19, détectées, accompagnées de «métadonnées» (date, lieu, âge du patient, sexe, ...), idéalement en temps réel, pour accomplir les analyses pertinentes. La figure suivante montre quelques-unes des séquences publiées par le consortium.



9- LRAM : Laboratoire de Recherche et d'Analyses Médicales de la Fraternelle de la Gendarmerie Royale.
10- CVMIT : Le Centre de Virologie, des Maladies Infectieuses et Tropicales.
11- HMIMV : Hôpital Militaire d'Instruction Mohammed V.
12- DELM : Direction de l'Epidémiologie et de Lutte contre les Maladies.
13- NGS : New Generation sequencing.
14- GISAID : Global Initiative on Sharing Avian Influenza Data.

3. L'analyse des variants des génomes séquencés

Cette analyse a permis de mettre en évidence que:

- Les souches SARS-Cov-2, collectées au Maroc sont caractérisées par un nombre important de mutations, ce nombre est corrélé au nombre de cas positifs, ce qui rejoint tout à fait ce qui a été décrit ailleurs;
- Le gène NSP3 présente le plus grand nombre de mutations suivis du gène S et du gène NSP2. D'autres gènes par contre, n'ont pas subi de mutations (NSP7, NSP9, NSP11, NSP16, NS6 et NS7b).

4. Analyses génomiques et Efficacité Vaccinale (vaccin Sinopharm)

Suite aux résultats de la phase II des essais cliniques sur le vaccin Sinopharm auquel le Maroc a pris part, des questionnements sur la couverture des souches circulant au Maroc par ce vaccin ont été soulevés par le Comité National de Vaccination. Pour répondre à ces questions, une analyse phylogénétique des génomes séquencés a été réalisée et a permis de conclure que les souches marocaines sont positionnées sur l'arbre phylogénique à proximité des souches couvertes par le vaccin Sinopharm, ce qui pourrait donner l'espoir que ce vaccin serait protecteur.

5. Contribution à l'étude des génomes SARS-CoV-2 à l'échelle de l'Afrique

Cette initiative africaine a impliqué 33 pays dont le Maroc. Elle a concerné l'analyse de 8746 génomes. Elle a montré que les épidémies dans la plupart des pays ont été initiées par des virus importés d'ailleurs, principalement en provenance d'Europe; mais à mesure que la pandémie se développait, d'autres pays africains - en particulier l'Afrique du Sud, le Kenya et le Nigeria - apparaissent comme des sources majeures d'importations dans d'autres pays africains, indiquent les auteurs de cette étude.

PUBLICATIONS

Title	Authors	Publication	Volume	Number	Pages	Year	Publisher
Complete Genome Sequence of a SARS-CoV-2 Strain Sampled in Morocco in May 2020, Obtained Using Sanger Sequencing	Rfaki, Abderrazak; Touil, Nadia; Hemlali, Mouhssine; Alaoui Amine, Sanaâ; Melloul, Marouane; El Alaoui, Moulay Abdelaziz; Elannaz, Hicham; Lahlou, Amine Idriss; Elouennass, Mostafa; Ennibi, Khalid;	Microbiology Resource Announcement	10	20	e00387-21	2021	American Society for Microbiology 1752 N St., NW, Washington, DC
A year of genomic surveillance reveals how the SARS-CoV-2 pandemic unfolded in Africa	Wilkinson, Eduan; Giovanetti, Marta; Tegally, Houriiyah; San, James E; Lessels, Richard; Cuadros, Diego; Martin, Darren P; Zekri, Abdel-Rahman N; Sangare, Abdoul K; Ouedraogo, Abdoul-Salam;	Science	374	6566	423-431	2021	Cold Spring Harbor Laboratory Press
Genome Sequences of the Delta Variant (B. 1.617. 2) and the Kappa Variant (B. 1.617. 1) Detected in Morocco	Melloul, Marouane; Chouati, Taha; Hemlali, Mouhssine; Alaoui Amine, Sanaa; Touil, Nadia; Elannaz, Hicham; Ennibi, Khalid; Youbi, Mohammed; Merabet, Mouad; Bellefquih, Abdelkrim Meziane;	Microbiology Resource Announcement	10	39	e00727-21	2021	American Society for Microbiology 1752 N St., NW, Washington, DC

II- L'ÉTUDE DE LA PRÉDISPOSITION GÉNÉTIQUE DE L'HÔTE

COORDONNATEUR : PR BOUHOUCHE AHMED

Objectifs

Elle a pour objectif d'étudier le rôle des facteurs génétiques de l'Hôte dans la susceptibilité et la sévérité de l'infection par le SARS-CoV2. Cet axe permettra : de Comprendre les déterminants génétiques de la susceptibilité à l'infection par le SARS-CoV2 et ceux de la variabilité de la réponse immunitaire qu'il cause; d'aider à identifier par des marqueurs génétiques les individus à risque anormalement élevé et de générer des hypothèses pour de nouvelles approches thérapeutiques.

1- METHODOLOGIE

1. Type d'étude : il s'agit d'une étude d'association Cas-Témoins.

2. Sites de l'étude

- Centre de Recherche de Génétique de la Fondation Cheikh Zaid (CRGFCZ)[15];
- Centre de Génomique des Pathologies Humaines (GENOPATH)[16], Faculté de Médecine et de Pharmacie de Rabat;
- Unité de Génétique, Hôpital Militaire d'Instruction Mohammed V, Rabat;
- Service de Cytogénétique, Institut Pasteur du Maroc, Casablanca.

3. Critères d'inclusion

- 18 ans < Age < 65 ans;
- Infection par le SARS-CoV2 confirmée par test PCR;
- Consentement éclairé signé.

4. Critères d'exclusion

- Femme enceinte.

5. Effectif de l'étude

300 individus volontaires sont recrutés et subdivisés en 4 groupes : asymptomatiques, Covid-19 léger-modéré, Covid-19 sévère et témoins normaux.

6. Recueil des données cliniques

Les données sont recueillies à partir des informations du dossier patient et retranscrites sur un CRF[17] avec un numéro d'identification du participant.

2- Protocole expérimental

1. Accord du comité d'éthique

Un dossier complet du projet a reçu l'accord du comité d'éthique le 30/01/2021 de la part du Comité d'Ethique de la Fondation Cheikh Zaid.

2. Recrutement des patients et témoins

Le recrutement des malades Covid-19 a été réalisé à partir de 4 sites, à savoir :

- le «Service des urgences médicales du CHU ibn Sina (Pr Aboukal);
- le service de virologie de l'hôpital Militaire (Pr Ennibi);
- Le service de réanimation de l'hôpital Cheikh Zaid (Dr Fares);
- Institut Pasteur (Pr Maaroufi).

Le recrutement des individu témoins a été réalisé de :

- centre régional de transfusion sanguine (Pr Hajjout).

3. Prélèvement sanguin et Extraction de l'ADN

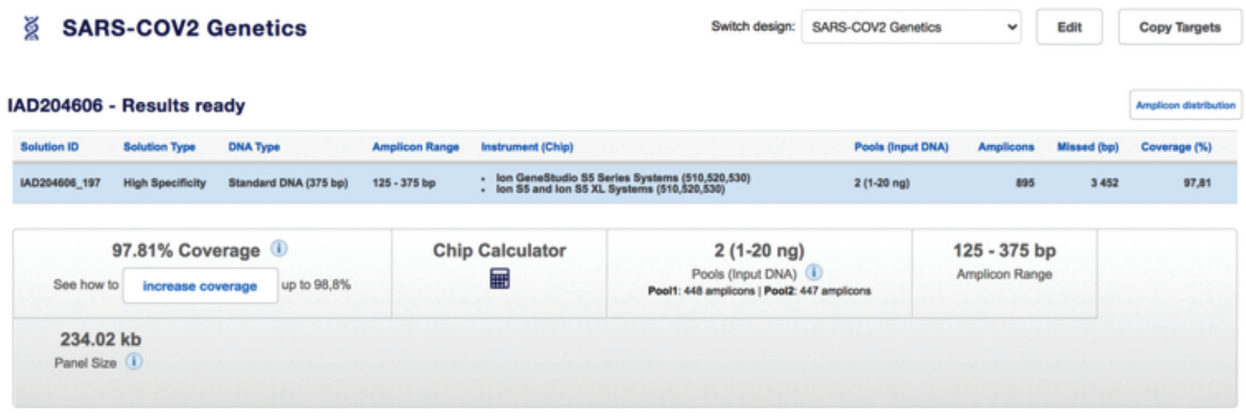
Après consentement des malades en signant une fiche de consentement, un tube EDTA de 5 ml est prélevé par malade et stocké à – 20°C en attendant d'en extraire l'ADN par des kits d'extraction. Afin de sauvegarder l'anonymat, on attribuera un code et une référence pour chaque individu.

Actuellement, l'ADN de 120 échantillons ont été extraits à l'aide d'un Robot. La quantification de l'ADN et le contrôle de la qualité sont effectués à l'aide du NanoDrop.

4. Design du Panel et expérimentation

Les gènes sélectionnés, en nombre de 47, sont inclus dans un panel conçu dans la plateforme «IonAmpliseq designer» qui a pour référence : IAD204606.

15- CRGFCZ : Centre de Recherche de Génétique de la Fondation Cheikh Zaid.
16- GENOPATH : Centre de Génomique des Pathologies Humaines, Faculté de Médecine et de Pharmacie de Rabat.
17- CRF : Case Report Form.



3- Commandes du consommable pour expérimentation

Le consommable de la première tranche pour le séquençage NGS a été commandé et est en attente de livraison.

Désignation des prestations	Référence
Ion AmpliSeq™ Kit for Chef DL8	A29024
Ion 510™ & Ion 520™ & Ion 530™ Kit – Chef (32 Samples/chip)	A34461
Ion 530™ Chip Kit (32 Samples/chip)	A27764
Custom Panel	IAD204606
Qubit™ 1X dsDNA HS Assay Kit	Q33230
Qubit Assay tubes	Q32856

Dès réception, les échantillons d'ADN seront analysés sur la plateforme de séquençage nouvelle génération du Centre de Recherche de Génétique Cheikh Zaied (CRGCZ) contenant un préparateur automatique des librairies (IonChef) et un séquenceur Ion S5 de la Société Thermo Fisher Scientific. Le CRGCZ est équipé de tout le nécessaire pour réaliser les expérimentations dans de bonnes conditions de sureté, de sécurité et de fiabilité.

III- ÉTUDE DE L'IMMUNITÉ INNÉE ET ADAPTATIVE CHEZ LES PATIENTS Covid-19: EXPLORATION DES MÉCANISMES DE RÉSISTANCE POUR UNE NOUVELLE STRATÉGIE POUR LE DÉVELOPPEMENT D'UN VACCIN

COORDINATEURS : KHYATI MERYEM & SARGHOUCHNI

PARTENAIRES : (IPM; INH; Hôpital My Yousef, Université My Slimane-Béni Mellal; CHU-Marrakech; Centre Régional de Transfusion Sanguine-Rabat et Hôpital Mohammed V-Rabat)

I- Objectifs

Explorer le système immunitaire procurant une immunité protectrice contre le SRAS-CoV-2 et identifier des éléments de la réponse humorale et/ou cellulaire qui seraient à l'origine de cette protection totale ou partielle chez une partie de la population.

Considérant l'évolution de la situation épidémiologique de même que les actions de santé publique engagées pour y faire face à l'échelle mondiale et au Maroc en particulier, de nouvelles questions scientifiques ont suscité l'intérêt du groupe de recherche sur l'Immunologie de l'hôte, particulièrement, l'étude de la réponse immune de la population Marocaine aux vaccins anti-SARS-CoV2 suite à la campagne de vaccination.

Résultats :

1er Résultat

Recrutement de 209 échantillons, cette série comporte des patients infectés et des sujets sains non infectés, elle sera communément explorée par le groupe de recherche sur la génétique de l'hôte et pour traiter des questions transversales.

2éme Résultat : Le workpackage R&D

Axe production d'anticorps polyclonaux et monoclonaux en vue de mettre en place un test sérologique, un test antigénique et un dispositif de prévention oro-nasal. (Equipe de l'université Chouaib Douakkali d'El Jadida).

Dans ce cadre, une collaboration a été élaborée avec une entreprise de vaches laitières pour mettre à disposition une génisse qui a été inséminée au mois de Mars et qui a été immunisée par l'unité S1 de la région RBD en septembre et puis extraire les anticorps de son lait suite à la mise bas. Des lapins d'expérimentation ont été aussi acquis en vue de leur reproduction puis immunisation par la nucléoprotéine du SARS-CoV-2.

IV- ACTIONS DE GESTION ET DE COORDINATION

1. Hygiène-Sécurité-Environnement des laboratoires

OBJECTIFS

La manipulation d'échantillons dangereux (nouveau virus hautement pathogène), nécessite des mesures de précautions et de bonnes pratiques de laboratoires.

RESULTATS

Réalisation d'un guide d'hygiène et de sécurité dans les laboratoires par la Direction du LRAM. Ce dernier, décrit le niveau minimum de critiques hygiène, de sécurité et de protection de l'environnement, attendues de toutes les personnes (enseignants, chercheurs, personnel et étudiants) impliquées dans les opérations du laboratoire. Il définit les mesures et les moyens à déployer pour maîtriser le niveau de contamination microbiologique, chimique et radioactif, pour prémunir l'ensemble des manipulateurs des risques connus ou inconnus susceptibles de survenir aux différentes étapes des tâches qui leurs sont imparties, et de préserver l'environnement. L'intérêt d'avoir un tel guide est d'autant plus pressant, compte tenu des aléas relatifs à la manipulation des échantillons Covid-19.

Ce Guide a été mis à la disposition de l'Académie pour publication et diffusion.

2. Mise en place des biobanques Covid-19 au Maroc

Une «Biobanque-Covid-19» a été réalisée par les chercheurs de la Faculté de Médecine et de Pharmacie d'Oujda, le Centre Hospitalier Universitaire Mohammed VI, Oujda et le Centre de transfusion régional d'Oujda. Cette biobanque a été rapporté dans une publication. (BioMed Research International, Volume 2020, Article ID 8812609, Saida Lhousni et al. "Morocco's First Biobank: Establishment, Ethical Issues, Biomedical Research Opportunities, and Challenge". DOI: 10.1155/2020/8812609.)

V- L'ETUDE CLINIQUE ET EPIDEMIOLOGIQUE (OBTEL MAJDOULINE)

Elle est consacrée à l'élucidation des déterminants cliniques et épidémiologiques, facteurs diagnostiques, pronostiques et thérapeutiques, l'évaluation des stratégies de prévention, de dépistage et de prise en charge. Ainsi que l'impact socioéconomique et psychologique de l'épidémie Covid-19.

RESULTATS

Création d'une base de données avec 70 paramètres (Biochimie, sanguin, statut immunitaire, bilan cardiovasculaire; radiologie, traitement etc….

1200 personnes ont été étudiées.

Un Article sur l'agnosie et anosmie a été publié par l'équipe dans le journal Frontiers in physiology.

Title	Authors	Journal	Volume	Number	Pages	Year	Publisher
Study of Clinical and Biological Characteristics of Moroccan Covid-19 Patients With and Without Olfactory and/ or Gustatory Dysfunction.	Benkirane H, Heikel J, Laamiri FZ, Bouziani A, Lahmam H, Al-Jawaldeh A, El Haloui N, Ennibi K, Akhtar-Khan N, El Fahime EM, Obtel M, Barkat A, Aguenaou H.;	frontiers in Physiology	19	11	595005	2020 Nov	Elsevier Masson

Etat d'avancement des projets du pôle technologique

Ali BOUKHARI

Collège Ingénierie, Transfert et Innovation Technologique

Dans le cadre de sa stratégie pour participer à l'effort national de lutte contre la Covid-19, l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a mis en place une subvention exceptionnelle de recherche. Elle répond aux défis scientifiques et technologiques posés par la Covid-19 et plus largement pour participer à l'effort du pays à faire face dans le futur à des épidémies et pandémies.

L'objectif à moyen et long termes est d'avoir une souveraineté scientifique et technologique nationale dans ce domaine en renforçant les capacités de recherche. Pour ce faire, l'Académie prend l'initiative de la création et du financement de trois pôles de recherche interdisciplinaires dans 1) le biomédical, 2) les technologies et 3) la modélisation et l'intelligence artificielle au service de la lutte contre les épidémies et pandémies.

Le pôle «Technologies» comprend trois thématiques qui sont: 1) Protection et services aux personnes; 2) Diagnostic et soutien pour la prise en charge des malades; 3) Surveillance et suivi de l'infection.

Une journée a été organisée le 14 juin 2021, au siège de l'Académie, dont l'objectif est d'exposer les premiers résultats et d'assurer le suivi de l'ensemble des projets financés dans le cadre du Covid-19. Plus d'une centaine de chercheurs ont assisté en présentiel ou en distanciel à cette rencontre. La journée s'est déroulée sous forme de trois sessions dont chacune est réservée à un des trois pôles de recherche interdisciplinaires.

Nous donnons dans cette partie, la synthèse des travaux de la première session, coordonnée par le Pr. Bousmina, Chancelier de l'Académie, qui a traité le pôle «Les technologies».Quatre exposés ont eu lieu respectivement par les coordonnateurs des projets :

- Pr. Kamal Kassmi de l'Université Mohammed Premier d'Oujda;
- Pr. Eddouks de l'Université Euro Med de Fès;
- Pr. EL Kazzouli de l'Université Euro Med de Fès;
- Pr. EL Kadib de l'Université Euro Med de Fès.

I- Projet 1 : Conception et fabrication d'un kit électronique et la surveillance à distance des malades atteints du virus Covid-19;

Coordonnateur : Kamal KASSMI; Professeur de l'enseignement supérieur, EST, UMP

Le projet couvre les thématiques II et III de la «Subvention exceptionnelle de recherche pour la lutte contre les épidémies et les pandémies» et il est composé de deux grandes parties. La première partie fait l'objet de la thématique II, et concerne la réalisation d'un kit de diagnostic et la surveillance du Covid-19. La deuxième partie fait l'objet de la thématique III, et concerne le développement de la plateforme Cloud.

L'orateur a rappelé les objectifs du la première phase du projet contractuel, qui sont au nombre de six :

- Choix et préparation de capteurs homologués par le ministère de la santé pour l'acquisition des grandeurs physiologiques vitales;
- Elaboration des schémas électriques fonctionnels;
- Choix de la topologie électronique de la carte d'acquisition compatible avec les capteurs utilisés;
- Recherche et adaptation des capteurs à la carte d'acquisition;
- Conception d'une architecture matérielle et logicielle du kit de diagnostic et de la plateforme Cloud;
- Simulation et logiciel de l'environnement matériel du kit de diagnostic.

Il a exposé ensuite les premiers résultats de recherche obtenus dans la première phase du projet concernant :

- La conception et la fabrication d'un kit électronique;
- La surveillance à distance des malades atteints du virus Covid-19.

I-1- Conception et fabrication d'un kit électronique

L'orateur a exposé les étapes et les résultats obtenus. Il a divisé son exposé en deux phases. La première est purement matérielle et traite de :

- La conception d'un kit intégré doté d'un ensemble de capteurs miniaturisés;
- La connexion au réseau avec une technologie appropriée.

La deuxième phase concerne l'informatique associée au traitement des données de la première phase et en particulier :

- Les données médicales collectées, transférées, enregistrées et stockées au niveau d'un serveur fédérateur;
- Le suivi à distance par un staff médical des données saisies et enregistrées du patient en vue de prendre les dispositions et les décisions nécessaires.

Dans son exposé, l'orateur a donné les premiers résultats de recherche du :

- Schéma fonctionnel du système que l'équipe a développé pour la mesure de la saturation en oxygène dans le sang (Figure 1);
- Schéma électrique du circuit pour la mesure du flux sanguin au niveau des capillaires (Figure 2).

Il a ensuite abordé des réalisations physiques au sein du centre de prototypage de l'ESTO «Ecole Supérieure de Technologie d'Oujda» d'un capteur conçu pour la mesure de la saturation en oxygène (Photos 1 et 2).

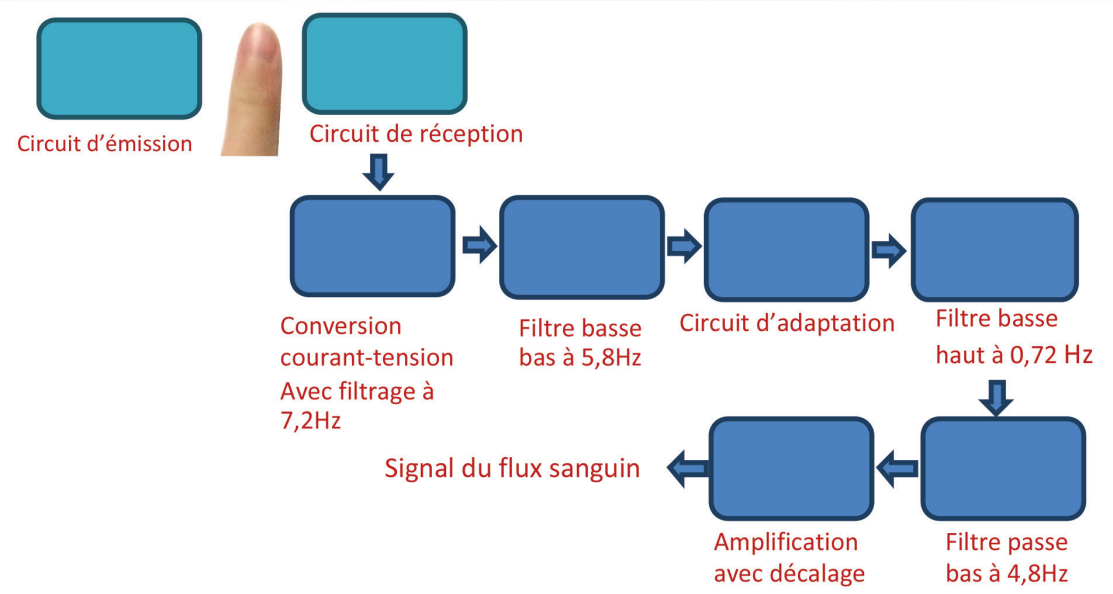
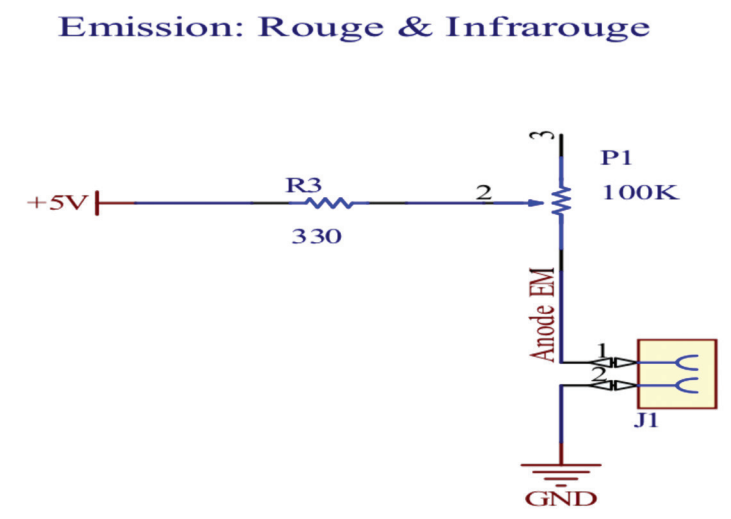


Figure 1 : Schéma fonctionnel du système pour la mesure de la saturation en oxygène dans le sang



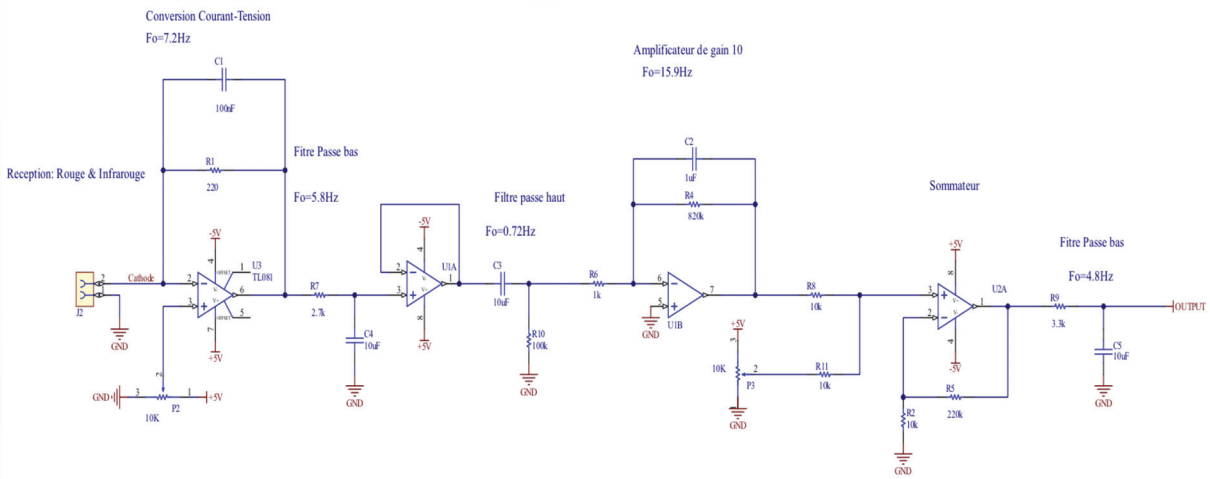
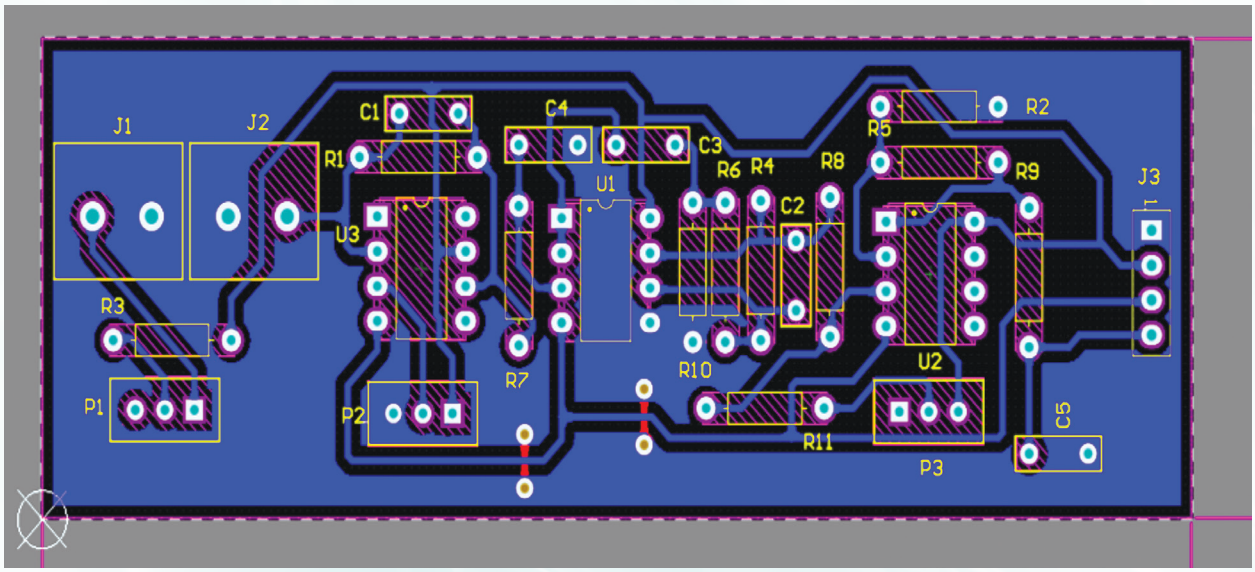


Figure 2 : Schéma électrique du circuit pour la mesure du flux sanguin au niveau des capillaires



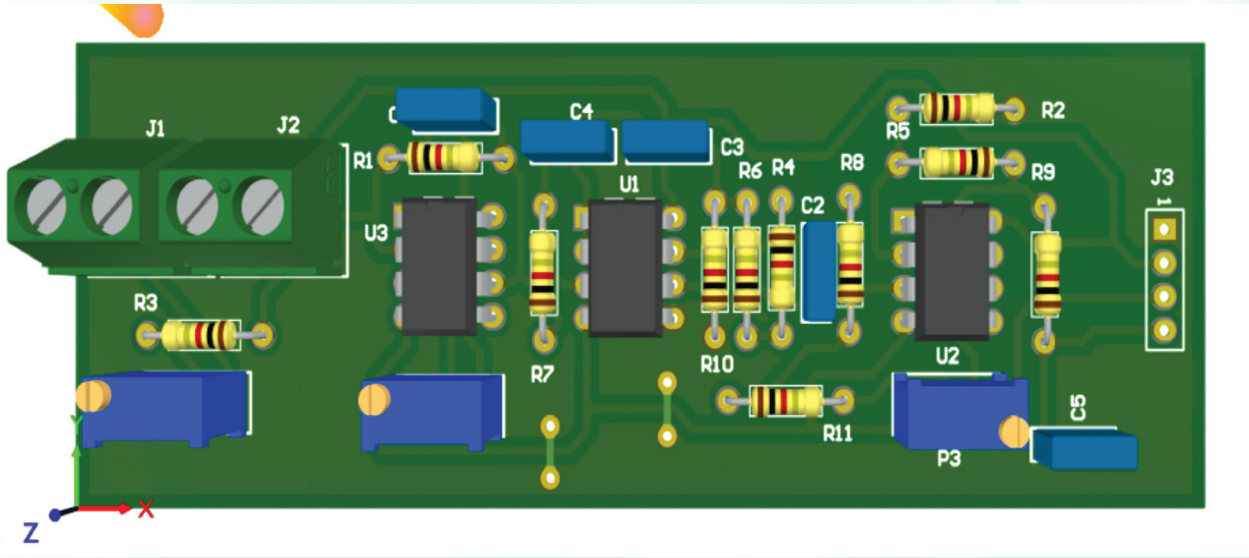


Photo 1 : Vue deux dimensions et trois dimensions du capteur conçu pour la mesure de la saturation en oxygène

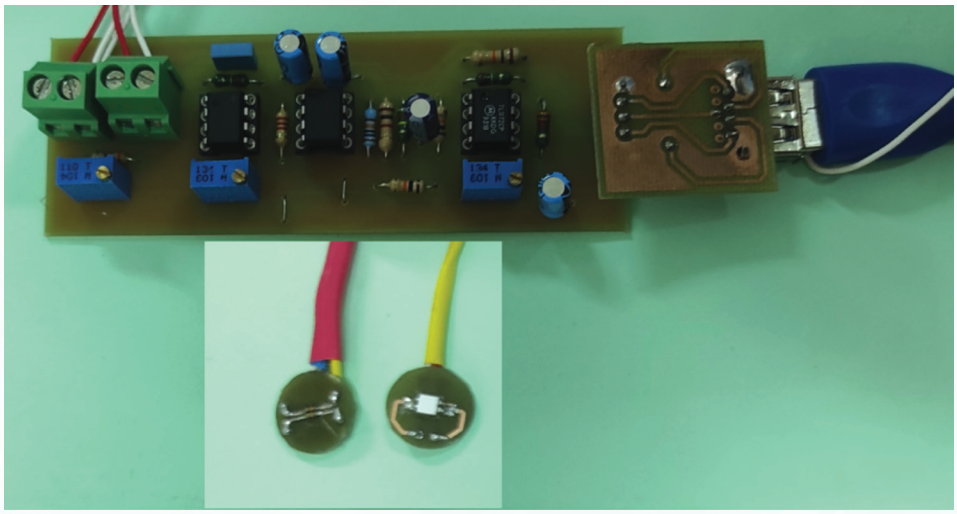


Photo 2 : Vue d'ensemble du capteur pour la mesure du flux sanguin réalisé au centre de prototypage de l'EST d'Oujda

La figure 3 montre le signal du flux sanguin relevé par le capteur réalisé, résultat obtenu par la carte d'acquisition µLAB. La photo 3 illustre le même signal du flux sanguin obtenu par notre capteur réalisé (visualisation sur oscilloscope).

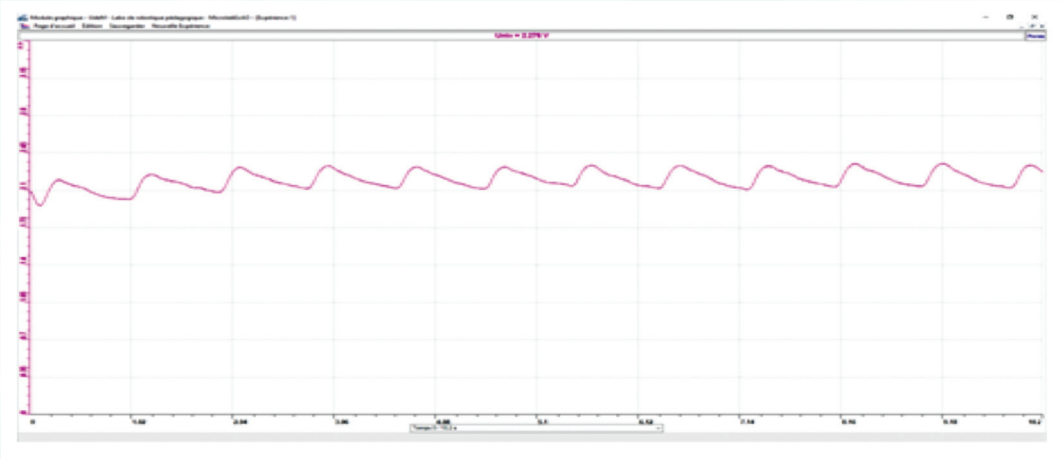


Figure 3 : Signal du flux sanguin obtenu par le capteur réalisé (Résultat obtenu par la carte d'acquisition µLAB)

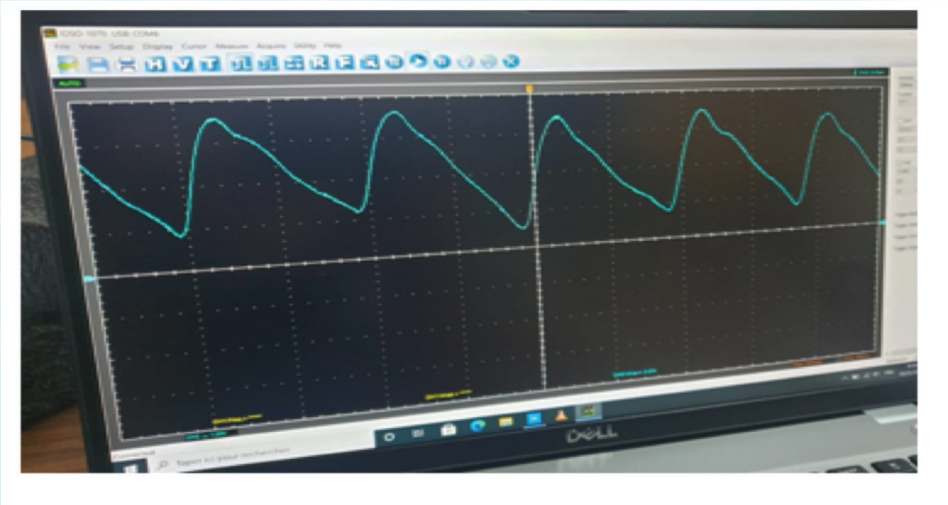


Photo 3 : Signal du flux sanguinobtenu par le capteur réalisé (Résultat obtenu sur oscilloscope)

I-2- Kit électronique et surveillance à distance des malades atteints du virus Covid-19

Dans cette partie, l'orateur a exposé le principe, les étapes et la conception d'un kit électronique de surveillance à distance des patients atteints du Covid-19.

L'Internet des objets médicaux (IoMT) est l'ensemble des dispositifs et applications médicaux qui se connectent aux systèmes informatiques de santé par le biais des réseaux informatiques. Les dispositifs médicaux équipés de technologies sans fil comme le Wi-Fi ou BLE (Bluetooth Low-Energy) permettent la communication de machine à machine qui est à la base de l'IoMT.Ces dispositifs sont reliés à des plateformes en ligne, sur lesquelles les données collectées peuvent être stockées et analysées.

L'IoMT est également connu sous le nom d'IoT des soins de santé. Parmi les exemples d'IoMT,nous citons la surveillance des patients à distance, le suivi des commandes de médicaments des patients, la localisation des patients admis dans les hôpitaux, ainsi que les dispositifs e-Health portables des patients, qui peuvent envoyer des informations aux soignants.

L'architecture globale d'un réseau IoMT est donnée à la figure 4.

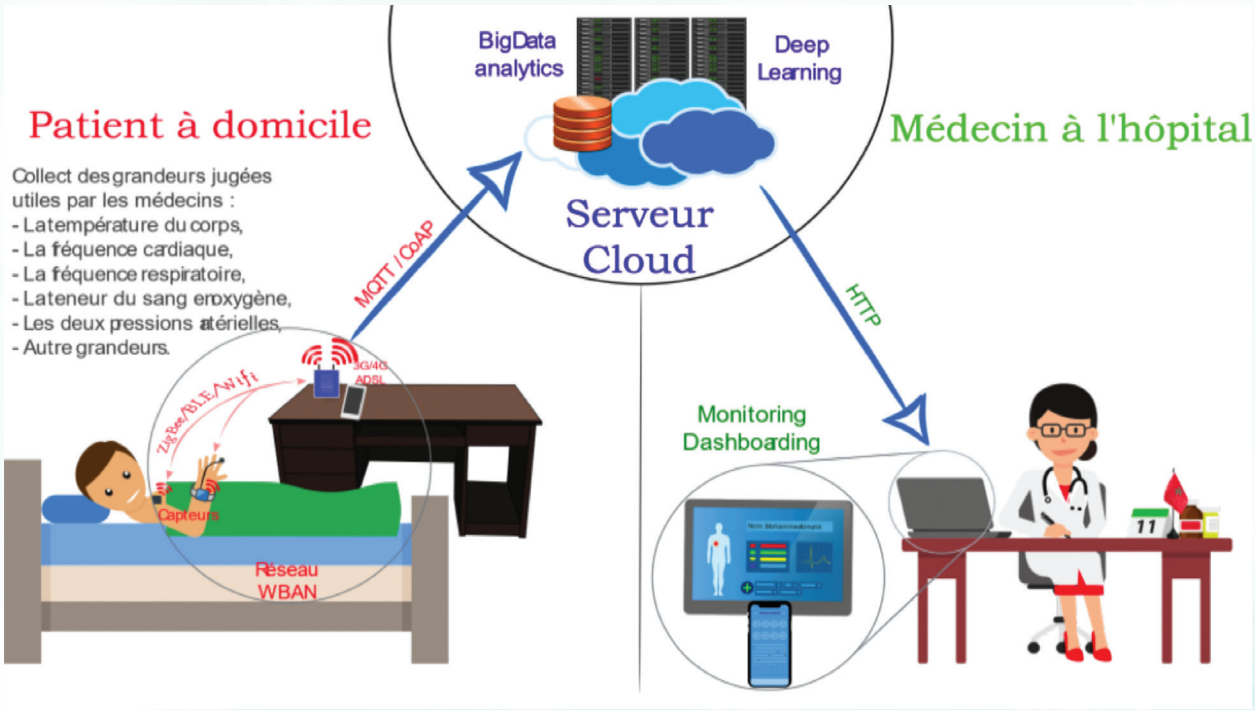


Figure 4 : Architecture globale d'un réseau IoMT

Après une étude approfondie des différentes architectures d'IoMT, l'équipe a opté pour l'architecture à trois couches. Une brève description de chaque couche a été présentée à cette occasion :

a- Couche Perception/Edge

- La tâche principale de cette couche est de percevoir les propriétés physiques (température du corps, fréquence cardiaque, fréquence respiratoire, teneur du sang en oxygène, …);
- Le processus de perception dans ce choix repose sur des technologies de transmission sans fil comme le BLE et le Wi-Fi. De plus, cette couche est chargée de convertir les grandeurs physiques en données numériques qui sont plus pratiques pour la transmission réseau.

En parallèle avec les efforts de fabrication du kit de capteurs par l'équipe électronique, l'équipe informatique a simulé la génération des grandeurs physiques. Ces grandeurs sont la température du corps, la fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire, la teneur du sang en oxygène, … en utilisant une application Python et Node.Js hébergée dans serveur en ligne.

b- Couche Gateway/Fog

Cette couche permet la collecte des données envoyées par la couche perception, à travers des technologies de transmission sans fils (BLE, Wifi), et du traitement des données reçues. En outre, cette couche est chargée de transmettre les données traitées à la couche application via la pile TCP/IP en utilisant le protocole MQTT. A ce niveau, nos chercheurs sont en train de développer des passerelles à base de Raspberry et ESP32, avec une application mobile.

c- Couche Serveur/Cloud

Cette couche permet de gérer les données traitées par la couche précédente. En fait, cette couche constitue le *frontend* de toute l'architecture IoMT à travers laquelle le potentiel de l'IoMT sera exploité.

Les différents services de cette couche (collecte, traitement et stockage des données, tableaux de bord analytiques, …) seront déployés dans le serveur acheté dans le cadre de ce projet. A ce niveau, les taches suivantes ont été effectuées:

- Validation du choix et achat du serveur (Serveur DELL DellPowerEdge R740);
- Installation et configuration du serveur.

d- Couche Serveur/Cloud

A ce niveau, les tâches suivantes ont été réalisées:

- Préparation du bail de stockage en utilisant la virtualisation de stockage basée sur le système RAID5. Installation d'un hyperviseur Proxmox Virtual Environment; C'est une solution de virtualisation libre basée sur l'hyperviseur Linux KVM, et offre aussi une solution de containers avec LXC.

D'autres tâches sont en cours, à savoir :

- Développement d'une plateforme IoMT version Alpha basée sur des outils open source (J2EE, Spring, Python, Node.JS ou autres);
- Déploiement de la plateforme IoMT version Alpha sur une machine virtuelle hébergée dans le serveur;
- Déploiement des serveurs de stockage et broker MQTT (machines virtuelles hébergées dans le serveur).

I-3- Equipes impliquées dans le projet

Equipe 1 : Electronique (ESTO, UMP, Oujda)

KASSMI Kamal
MESSAOUDI Abdelhafid
MEKHFI Hassane **(FSO, UMP, Oujda, Physiologie humaine)**

Equipe 2 : Informatique (ESTO, UMP, Oujda)

MOUSSAOUI Omar
AZIZI Mostafa
IDRISSI Idriss
BOUKABOUS Mohammed
GRARI Mounir
AZIZI Adnane

Equipe 3 : Médicale (FMO, UMP, Oujda)

BENTATA Yassamine
BENZIRAR Adnane
HOUSNI Brahim
HAMAZ SIHAM
OULALI Nourreddine

Equipe 4 : Université EuroMed, Fès

VAUDREUIL Sébastien

Equipe 5 : Université Picardie Jules Verne, Amiens, France

RABHI Abdelhamid
BOSCHE Jérôme
EL HAJJAJI Ahmed

II- Projet 2 : Etude Préclinique du Potentiel Anti-Covid-19 des Plantes Médicinales de la Pharmacopée Marocaine;

Coordonnateur : Pr Mohamed EDDOUKS, Équipe d'Ethnopharmacologie et Pharmacognosie, FST, Errachidia, Université Moulay Ismail, Maroc.

II-1- Introduction

L'infection au Coronavirus SARS-CoV-2 est une pandémie mondiale qui a des impacts très lourds sur la vie humaine, les systèmes de santé et des répercussions non négligeables d'ordre psychologiques ou économiques (Figure 5).

La Covid-19 peut porter atteinte aux organes vitaux tels que les reins, le système cardiovasculaire, le système respiratoire, le foie, le cerveau et le système digestif. Ceci conduit à un risque de mortalité qui sera accentué en cas de présence de comorbidité comme le diabète, l'hypertension ou l'obésité. Plusieurs séquelles persistent à long terme.

Actuellement, des vaccins sont disponibles et les programmes de vaccination avancent à travers le monde. Cependant leur efficacité à long terme est controversée et surtout avec l'apparition de nouveaux variants et éventuellement l'apparition de nouvelles souches du coronavirus dans le futur. Quelques traitement existent, mais leurs efficacités sont controversés.

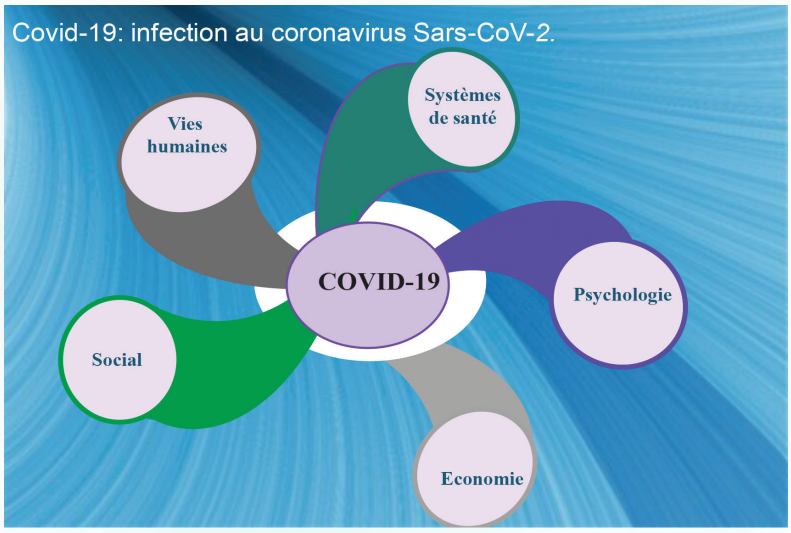


Figure 5 : Impacts du Covid-19 sur la vie humaine

La course à la recherche de nouveaux traitements est toujours en cours. La piste de l'utilisation des substances naturelles est envisageable; celles-ci ont représenté un réservoir de principes actifs non négligeables et intégrés dans la pharmacologie moderne comme des traitements pour plusieurs pathologies. Le problème actuellement pour la mise au point de nouveaux médicaments est le manque de modèle animal valable pour la recherche de médicaments anti-Covid-19.

Alors, pour le développement d'un médicament, la physiopathologie de la maladie est un facteur important don il faut tenir compte. Concernant le SARS-CoV-2, l'entrée dans la cellule hôte nécessite la liaison à une protéine qu'on appelle l'enzyme de conversion de l'angiotensine 2, notée ACE2. La Figure 6 montre schématiquement le processus d'infection de la cellule hôte avec la protéine Spike.

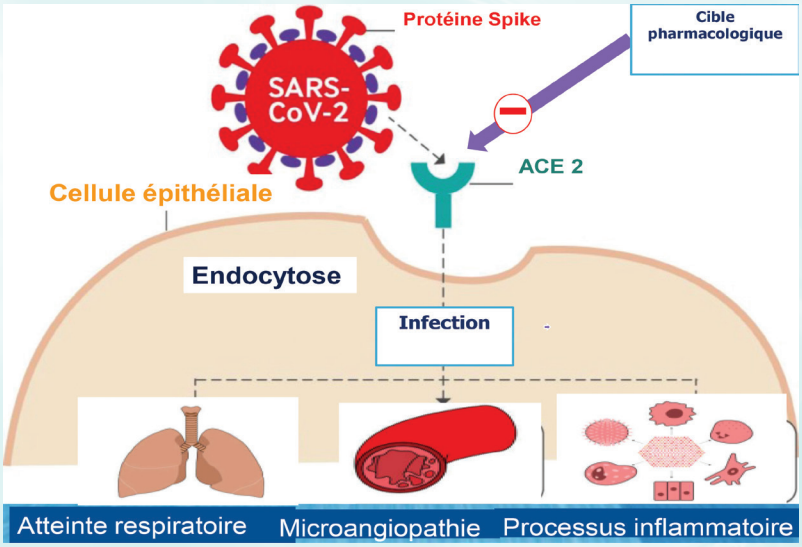


Figure 6 : Processus d'infection de la cellule hôte avec la protéine Spike

Le mécanisme de l'infection par le SRAS-CoV-2 est la liaison requise du virus à la forme liée à la membrane de l'enzyme de conversion de l'angiotensine 2 (ACE2) et l'internalisation du complexe par la cellule hôte.

L'ACE 2 est une enzyme cruciale du système rénine-angiotensine impliquée dans la régulation de la pression artérielle mais également de plusieurs processus tels que l'inflammation, le processus oxydatif et la fibrose.

La reconnaissance du fait que l'ACE2 est le corécepteur du coronavirus a incité de nouvelles approches thérapeutiques pour bloquer l'enzyme ou réduire son expression pour empêcher l'entrée cellulaire et l'infection par le SRAS-CoV-2 dans les tissus qui expriment l'ACE2, y compris les poumons, le cœur, les reins, le cerveau et l'intestin.

L'ACE 2 est connue pour son effet vasodilatateur au niveau des vaisseaux sanguins. L'effet pharmacologique d'une substance donnée sur son expression et activité peut alors être mesuré indirectement par évaluation de l'effet de cette substance sur la vasomotricité induite par un stimulateur ou un inhibiteur spécifique de l'ACE 2.

A ce jour, aucun inhibiteur spécifique de l'ACE n'existe sur le marché. Les plantes médicinales ont toujours constitué un réservoir de nouvelles molécules à vertus curatives et préventives. Le Maroc dispose d'une diversité florale importante et d'une pharmacopée de renom.

II-2- Méthodologie et protocole expérimental

L'objectif de ce projet est de :

- Rechercher les plantes médicinales et substances naturelles aptes à réguler l'ACE 2 comme cible pharmacologique: inhibition ou stimulation;
- Analyser les effets de ces plantes médicinales et substances naturelles.

Les plantes médicinales sont d'origine marocaine, spécialement de la région de Drâa Tafilalet.

La recherche est basée sur les principes pharmacologiques de l'ACE2 qui donne une vasodilatation des vaisseaux sanguins. Cette vasodilatation est stimulée par le diminazène (Figure 7).

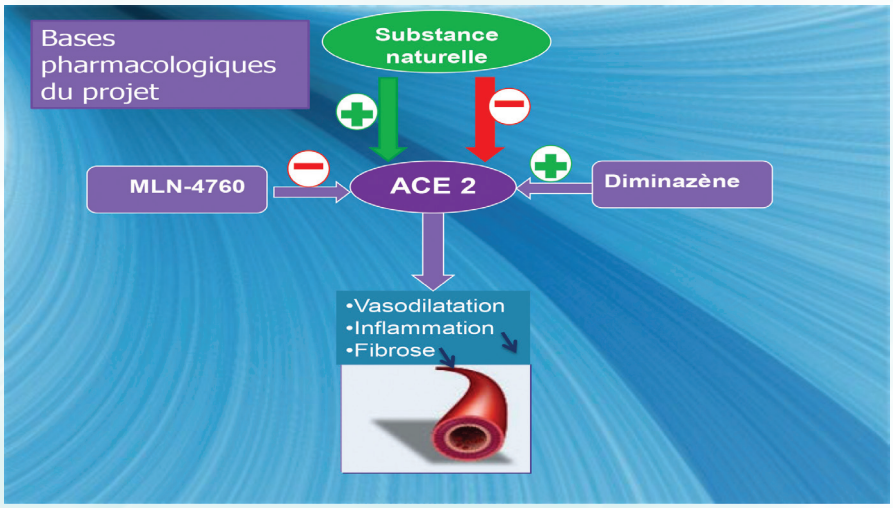


Figure 7 : Bases pharmacologiques de la stimulation de l'ACE2

Une plante naturelle (plante médicinale ou un principe actif) est capable d'inhiber l'ACE2 si elle est capable d'inhiber la vasodilatation induite par le diminazène. C'est un principe indirect de la pharmacologie. Une substance qui stimulerait l'ACE2, celle-ci devrait provoquer une vasodilatation des vaisseaux sanguins. Cette vasodilatation doit être elle-même être inhibée, par un inhibiteur spécifique de l'ACE2; le MLN-4760. La simulation de l'ACE2 pourrait bénéfique dans les cas d'inflammation et de fibrose.

L'équipe de recherche a testé, dans cette première phase (Figure 8), l'effet pharmacologique des extraits de plantes médicinales sur l'ACE 2 au niveau de l'aorte isolée de rat normal, hypertendu ou diabétique. L'Anesthésie a été faite avec le pentobarbital de sodium. La pré-contraction a été faite en utilisant l'adrénaline et le KCl.

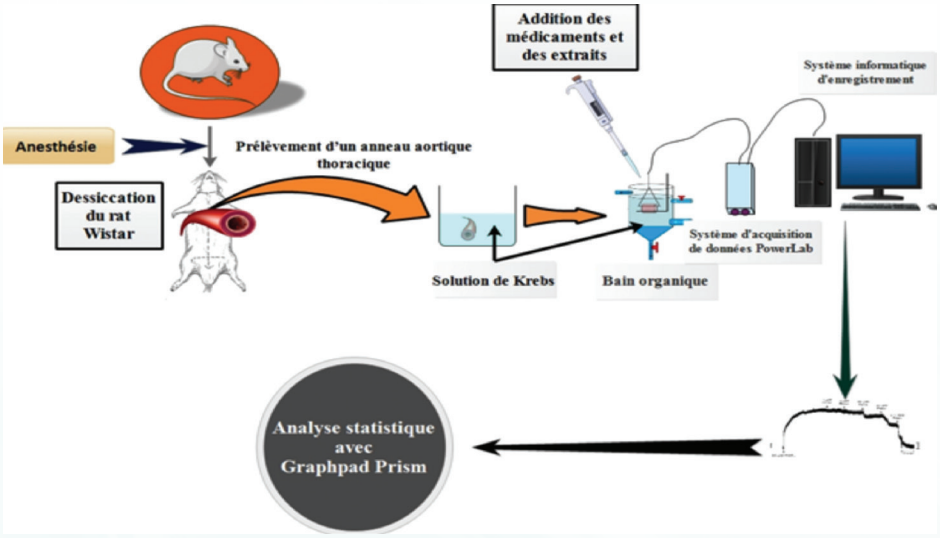


Figure 8 : Protocole expérimental du suivi des paramètres de la PA *ex-vivo* de l'aorte isolée de rat

Les artères isolées sont coupées transversalement suspendues à une force déterminée dans une solution organique. Les anneaux aortiques sont montés sur deux crochets en acier inoxydable, l'un fixé au bas de la chambre et l'autre à un transducteur de force connecté à un système d'acquisition de données afin d'enregistrer le signal correspondant à la tension isométrique.

Dans ce protocole, la contractilité vasculaire de l'aorte isolée du rat et mise dans un bain organique, est mesurée en fonction de l'absence ou de l'existence de la substance à tester. Le dispositif de mesure est relié à un système informatique et les données sont analysées par la suite.

Si la vasorelaxation ou la vasomotricité est observée *ex-vivo* elle sera confirmée *in vivo* sur le rat normal et le rat rendu hypertendu (Figure 9).

Les mécanismes d'action impliqués dans cette vasomotricité ont été étudiés et l'action spécifique sur l'ACE 2 a été évaluée indirectement en utilisant des substances agoniste/antagonistes spécifiques. Pour les extraits et fractions ayant un effet inhibiteur ou stimulateur de l'ACE 2, les analyses phytochimiques et toxicologiques sont réalisées.

II-3- Résultats scientifiques

Dans cette première phase du projet, l'équipe a :

- développé le protocole expérimental de l'évaluation de l'effet des substances naturelles sur l'ACE 2 *ex-vivo*;
- obtenu les résultats suivants :

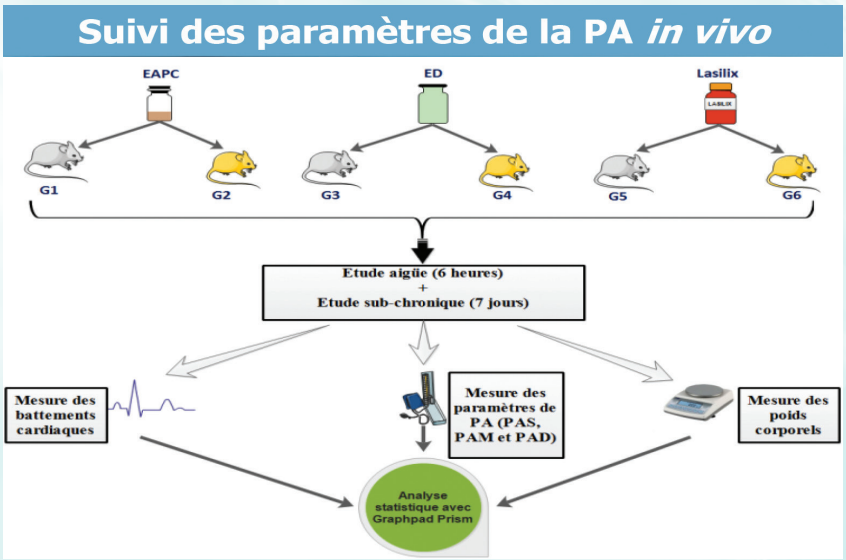


Figure 9 : Suivi des paramètres de la PA *in vivo*.

a) La figure 10 montre l'effet vasorelaxant induit par le diminazène où on observe l'effet dose-réponse en fonction du temps très apparent sur l'aorte isolée du rat par rapport à différentes concentrations.

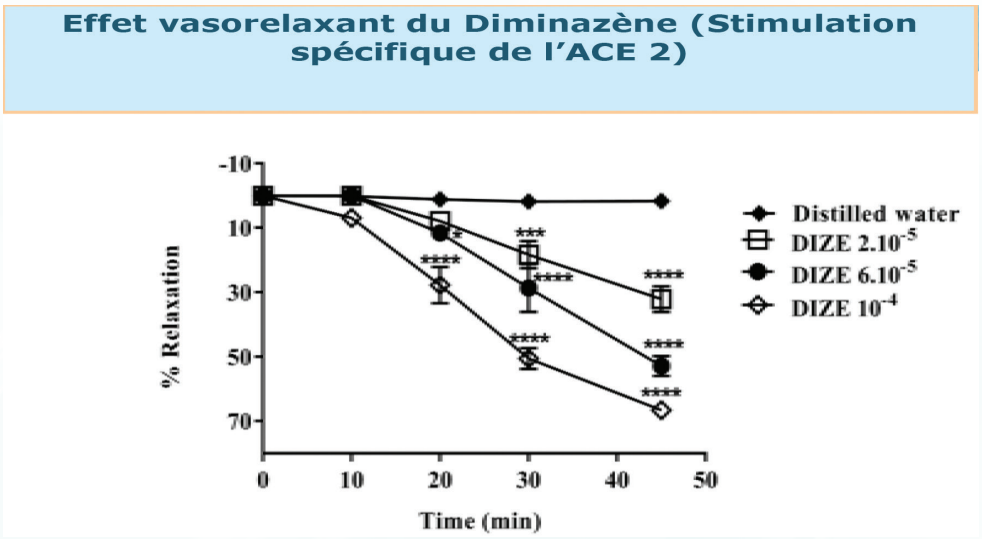


Figure 10 : Effet vasorelaxant du diminazène sur l'aorte isolée du rat

b) La figure 11 montre l'effet vasorelaxant du diminazène qui est de type endothélium-dépendant. Ceci est confirmé par l'absence de vasodilatation quand on rajoute l'acétylcholine qui est un agent vasorelaxant. Quand on détruit l'endothélium, il n'y a plus d'effet du diminazène sur la relaxation. L'ACE2 est abondante dans l'endothélium.

c) Substances testées n'ayant pas d'effet sur l'ACE 2

Dans cette étude, l'équipe de recherche a fait un screening des substances naturelles réputées par leurs effets bénéfiques sur les pathologies chroniques ou relevées dans des études de modélisation moléculaires. Elle a analysé dans ce cadre leur comportement sur l'ACE2 à différentes doses.

La Figure 12 : donne la liste des substances testées au laboratoire et n'ayant pas d'effet sur l'ACE2.

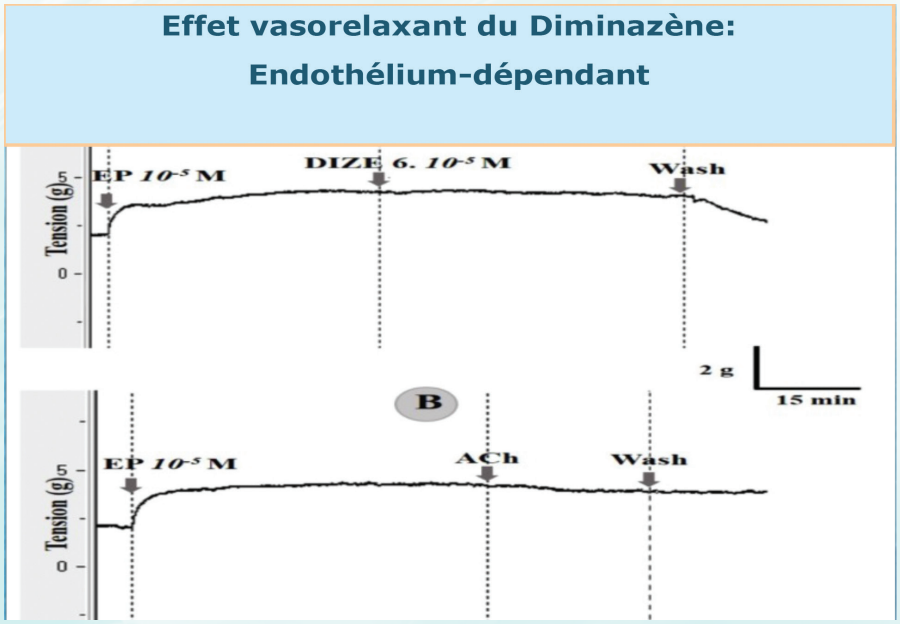


Figure 11 : Effet vasorelaxant du diminazène de type endothélium-dépendant

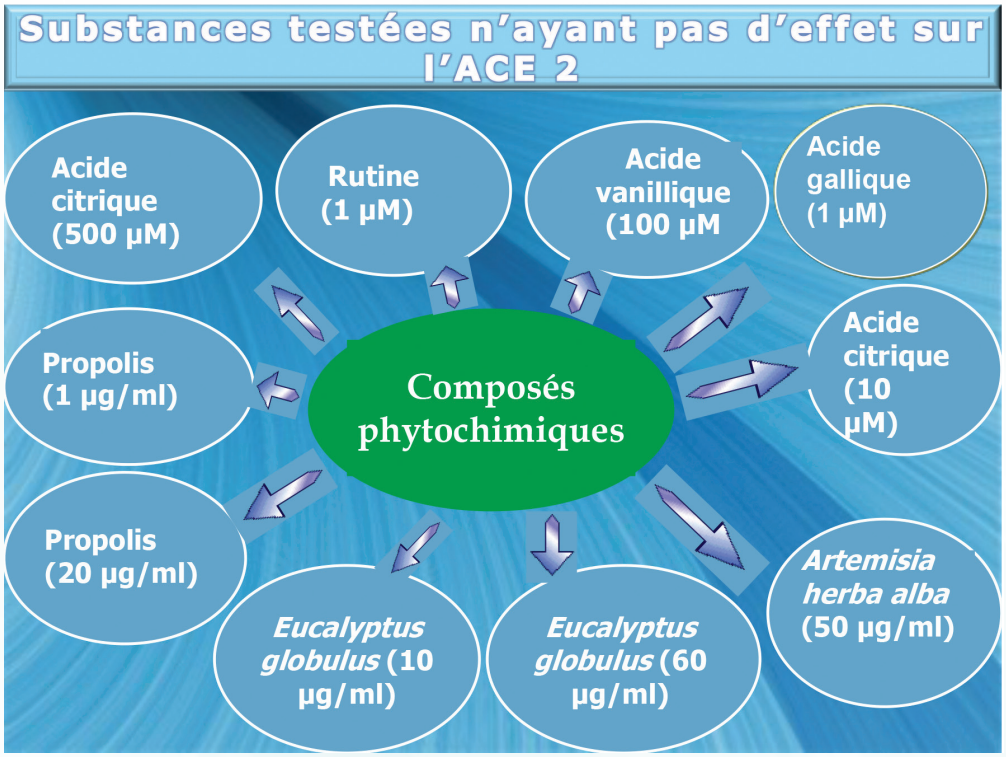


Figure 12 : Substances testées au laboratoire et n'ayant pas d'effet sur l'ACE2

Tous ces tests se sont révélés non concluants à l'exception de l'acide ascorbique (vitamine C) qui a montré un effet inhibiteur puissant et dose-dépendant sur l'inhibition l'ACE2 (Figure 13). Il s'est avéré aussi que l'acide ascorbique est un puissant vasorelaxant important.

Parmi les plantes qui stimulent l'ACE2, l'équipe donne les résultats obtenus par l'extrait de *Hibiscus rosa-sinensis*. Les Figures 14 et 15 montrent l'effet vasorelaxant de l'extrait aqueux de cette plante et l'inhibition de cette vasorelaxation par le MLN-4760 respectivement. Ce qui montre que cette plante à un effet stimulateur sur l'ACE2.

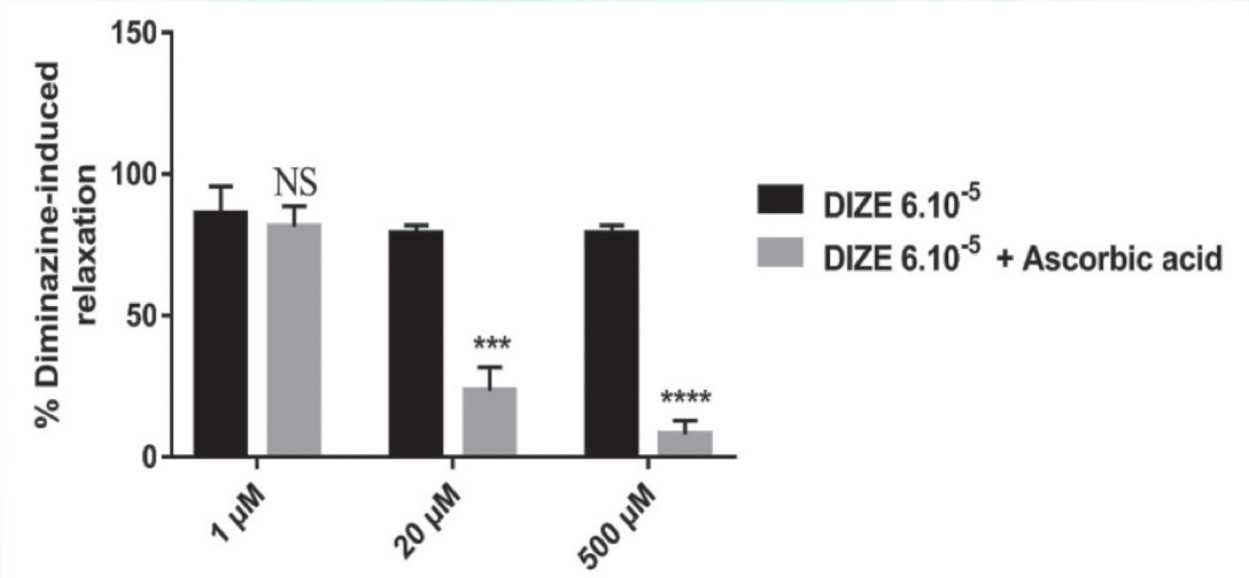


Figure 13 : Effet inhibiteur de l'Acide Ascorbique sur l'ACE2 : inhibition de la vasorelaxation induite par le diminazène

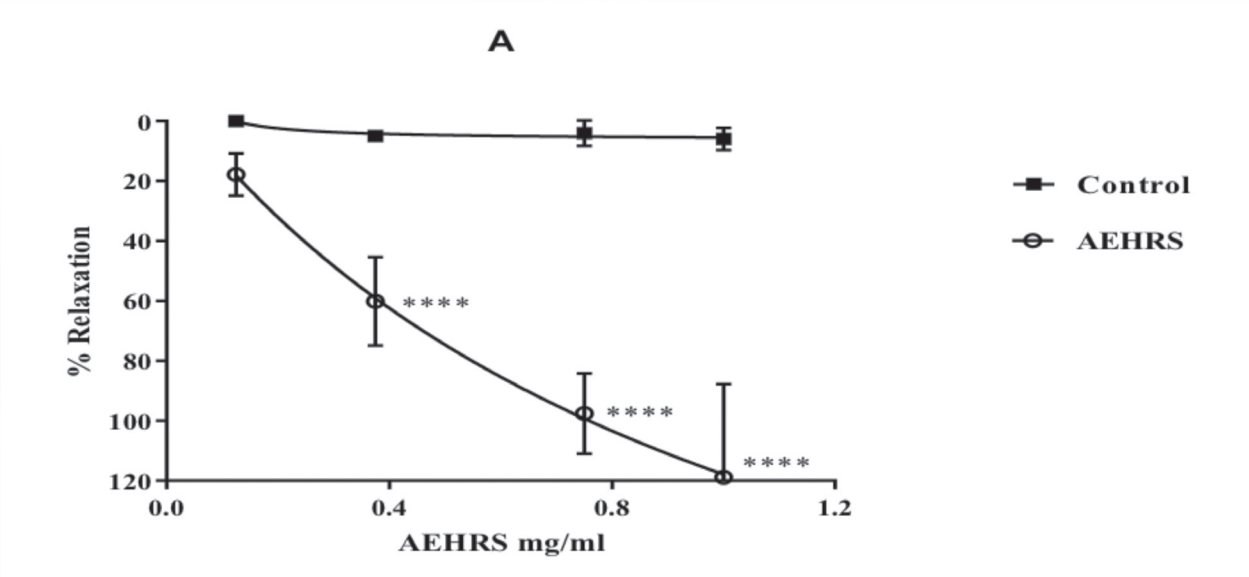


Figure 14 : Effet vasorelaxant de l'extrait aqueux de la plante *Hibiscus rosa-sinensis* (AEHRS)

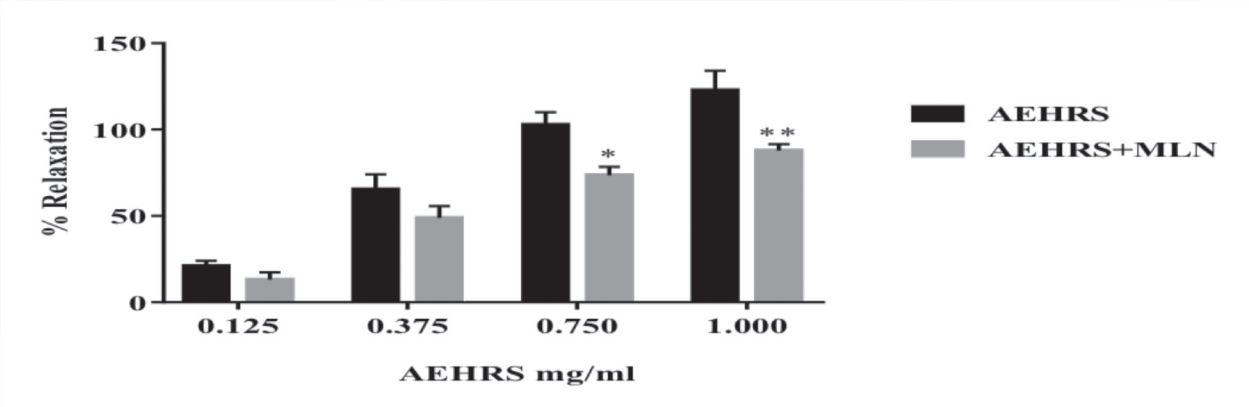


Figure 15 : Effet de la pré-incubation par le MLN-4760 (inhibiteur de l'ACE 2) sur la vasorelaxation induite par l'extrait aqueux de la plante *Hibiscus rosa-sinensis* (AEHRS)

III- Projet 3 : Design, synthèse et évaluation biologique de nouvelles molécules comme anti-SARS-CoV2. Vers le développement d'un médicament 100% marocain; Coordonnateur: El Kazzouli Saïd; Professeur de l'Enseignement Supérieur; Faculté Euromed de Pharmacie, Université Euromed de Fès

Plusieurs coronavirus peuvent entraîner des infections respiratoires dont les manifestations vont du simple rhume à des maladies plus graves comme le syndrome respiratoire du Moyen-Orient (MERS) et le syndrome respiratoire aigu sévère (SRAS). La maladie du Covid-19 ou syndrome respiratoire aigu sévère est causée également par un virus de la famille des coronavirus. Ce dernier a été découvert pour la première fois à Wuhan à la province de Hubeie en Chine et il a été nommé SARS-CoV2 [*N. Engl. J. Med*. 382, 727, (2020); *N. Engl. J. Med*. 382, 1199, (2020)]. Le séquençage du génome du SARS-CoV2 a montré qu'il est identique à 79,6% au SARS-CoV [*Nature* 579, 265 (2020); *Nature* 579, 270, (2020)].

Le virus qui infecte la cellule peut pénétrer au sein de cette dernière selon deux voies assistées par des récepteurs et enzymes extracellulaires :

- L'endocytose (n'est pas la voie préférable);
- La fusion entre la membrane du virus et celle de la cellule(la voie la plus favorable).

Ce qui est important de noter c'est que l'ARN, dès qu'il pénètre à l'intérieur de la cellule, il donne lieu à une biosynthèse de deux polyprotéines. Une fois ces deux protoprotéines synthétisées, deux protéases portant les appellations de la Mpro (appelée aussi 3CLpro) et de la PLpro (appelée

aussi protéase de type papaïne) sont auto-clivées. C'est à ce moment-là que les deux protéases commencent à couper de manière très spécifique les deux polyprotéines afin de synthétiser toutes les protéines nécessaires à la réplication du virus.

L'idée proposée par notre groupe de recherche est de développer des inhibiteurs pour au moins une de ces deux protéases, surtout la plus importante, à savoir la Mpro, afin de bloquer la réplication du virus.

La protéase Mpro est une enzyme nécessaire pour la fabrication des protéines qui sont à leur tour cruciales pour le développement et la réplication du virus. Cette protéase est considérée aujourd'hui comme une des cibles les plus prometteuses pour le développement d'anti-SARS-CoV2. Pour ce faire, il est impératif de passer par le développement de molécules capables d'inhiber la Mpro dont la composition chimique et la structure des rayons X sont aujourd'hui bien connues [*Science* 368, 409, (2020)]. Cette enzyme, sous forme d'un dimère, contient un site catalytique caractérisé par la présence de deux acides aminés à savoir le His41 et la Cys145. C'est deux acides aminés sont très importants et nécessaires pour l'activité enzymatique du site actif [*Science* 368, 1331, (2020)].

III-1- Stratégie de la conception d'inhibiteurs peptidiques ou à base de petites molécules

L'inhibition du cycle catalytique de la protéase Mpro passe par l'inhibition de la cystéine (Cys145) qui réagit avec des molécules électrophiles conduisant à sa désactivation.

Ainsi, l'objectif de ce projet est :

1- Le design, la synthèse, la purification et la caractérisation de nouvelles molécules électrophiles capables d'inhiber la Mpro;

2- La modélisation moléculaire afin de prédire et/ou expliquer les résultats obtenus;

3- Le séquençage des variants circulant au Maroc;

4- Les tests sur le virus et les variants *in vitro* pour évaluer l'activité antivirale;

5- Les analyses physico-chimiques, microscopiques et cristallographiques afin d'élucider le mode d'action des inhibiteurs.

III-2- Résultats scientifiques obtenus

Grâce à leur expertise dans la conception et la synthèse de molécules biactives pour le traitement de plusieurs types de cancers, les chercheurs impliqués dans ce consortium transfèrent leur savoir pour le développement deprincipes actifs capable d'inhiber le site actif de la Mpro, et ce en ciblant la cystéine et des acides aminés donneurs et accepteurs de liaisons hydrogènes. D'autres interactions de type hydrophobe sont aussi prises en compte lors de la conception.

Le protocole de conception et de synthèse des nouvelles molécules cibles n'a pas été dévoilé à cause du dépôt d'un brevet (S. El Kazzouli, N. Touil, E. El Fahime, A. El Abbouchi, M. Hemlali, N. El Brahmi, A. El Alaoui, S. Bounou, M. Bousmina, N° de dépôt de la demande : 53521 au Maroc. Date de dépôt : 12/05/2021). Néanmoins, 26 composés ont été synthétisés et testés *in vitro* sur des cellules Vero.La viabilité de ces produits a été testée à différentes doses en utilisant un colorant fluorescent (Figure 16); d'autres essais sur d'autres molécules sont en cours.

Les valeurs des IC_{50} pour les trois composés **P06**, **P26** et **P30,** sont respectivement de 3,9, 11,2 et 4,84 micomolaire. La modélisation moléculaire a montré l'occupation du site actif de la Mpro par les trois molécules **P06**, **P26** et **P30**.

Le calcul des % d'inhibition à différentes concentrations des inhibiteurs P**06**, **P26** et **P30** est illustré sur la figure 16.

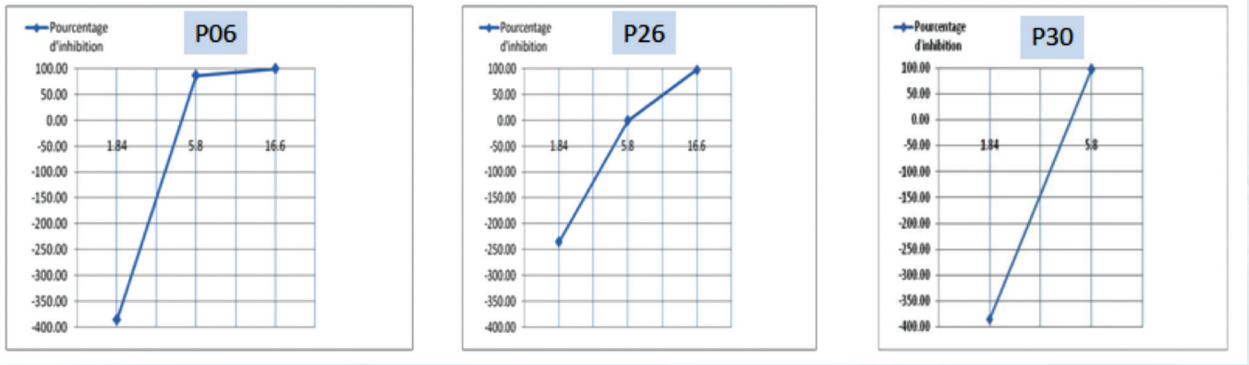


Figure 16 : Pourcentages de réduction des titres infectieux par les molécules **P6**, **P26** et **P30** en µM.

III-3- Partenaires du projet

- UEMF
- Université Mohammed V des Sciences de la Santé
- Université Ibn Tofail
- CNRST
- Hôpital Militaire de Rabat

IV- Projet 4 : *Nano-Bio-Mat* : Revêtements de surface antiviraux et antibactériens pour les hôpitaux et les établissements publics, Coordonnateur El Kadib Abdelkrim, Professeur, Faculté de Génie. Université Euromed de Fès

Le projet concerne la mise au point de nouveaux revêtements de surface antibactériens et antiviraux. Leur conceptualisation fait appel aux nanosciences et leur réalisation tire profit des progrès réalisés en nanotechnologie. Il s'agit donc **d'un projet à double facette** visant à la fois la mise au point rapide de produits destinés aux hôpitaux et établissements publiques dans le contexte du Covid-19, et puis, une étude exploratoire pour la découverte de nouveaux antiviraux puissants et bon marché, et la configuration de nouveaux nanomatériaux en assemblant leurs édifices pour constituer des revêtements durables destinés aux surfaces de contact.

Comme illustré sur la figure 17, la transmission des virus ou des bactéries peut se faire selon plusieurs façons, via un vecteur passif de transmission, ou une surface de contact. Les surfaces de contact sont d'une grande importance pour les hôpitaux et les établissements regroupant des personnes vulnérables puisque ces transmissions conduisent à des infections nosocomiales.

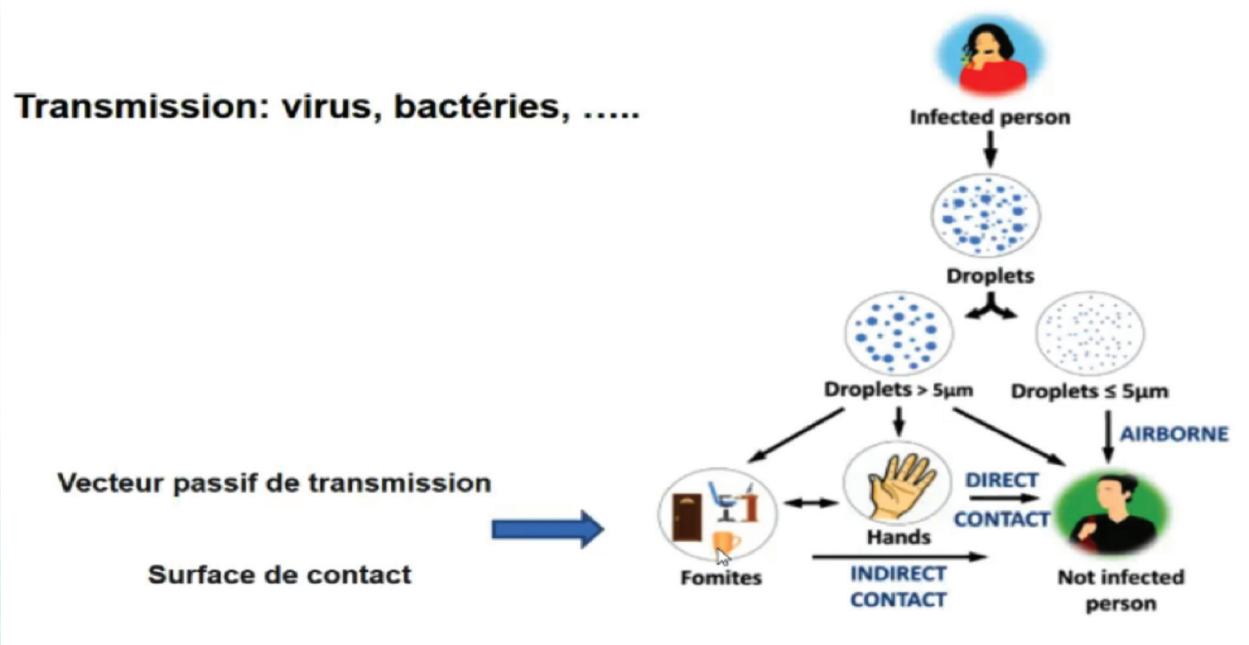


Figure 17 : Types de transmission des virus et des bactéries

IV-1- Méthodologie

Les travaux développés dans ce projet reposent sur deux volets :

1- Le premier porte sur l'élaboration de films transparents et biologiquement actifs, adhérents sur différents surfaces et destinés à l'intérieur des hopitaux et établissements publics.

2- Le deuxième s'articule autour de la conception de peintures antibactériennes et antivirales destinées aux facades des hôpitaux et établissement publics.

L'équipe de recherche possède une longue expérience dans la conception de nanomatériaux antibactériens et leur mise en forme. L'équipe répond ainsi, via ce projet, à une demande sanitaire urgente contre la pandémie de la Covid-19.La démarche scientifique est basée sur:

1- La recherche de nouvelles molécules antibactériennes et antivirales.

et

2- Leur greffage sur des surfaces pour obtenir des recouvrements homogènes, stables et durables.

L'entreprise O'DASSIA, partenaire de ce projet, commercialise depuis des années des peintures écologiques à base d'eau, ce qui est très prometteur d'un point de vue environnemental et parfaitement adapté à un usage visant le milieu hospitalier et les établissements regroupant des personnes vulnérables.

Les méthodes proposées jusqu'ici pour l'inactivation des virus englobent l'utilisation de nanoparticules (NP) et nanomatériaux connus pour leurs propriétés anti-pathogènes intrinsèques, tels que les nanoparticules à base de métaux, le graphène, ou pour leur capacité à inactiver les virus et les bactéries. Certains composés organiques (petitesmolécules ou polymères) comportant des fonctions spécifiques (ammoniums, sulfates, phosphates) interagissent également avec les bactéries et les virus et constituent de ce fait des candidats privilégiés pour les revêtements antiviraux. Le défi étant ainsi de déposer ces combinaisons (nanoparticules métalliques et additifs organiques bioactifs) comme revêtements sur des surfaces de contact sans en altérer l'activité antibactérienne et antivirale.

L'équipe de recherche a délibérément évité le choix des nanoparticules d'argent, de l'oxyde de zinc ou de TiO_2, pour ne pas se confronter à la question épineuse de la toxicité de l'exposition à ces particules. Les molécules organiques reconnues pour leurs activités antibactériennes et antivirales, de type ammonium, organique, de type sulfonium et aussi les Halamines, ont été ainsi privilégiées.

Le choix des molécules à pouvoir antibactérien et antiviral ne constitue pas une finalité car il faudrait plutôt l'indiquer dans une formulation transparent, stable et pulvérisable sur des surfaces (ex. lame de verre). Un greffage optimal devrait conduire à un revêtement transparent, discret et durable dans le temps. Le greffage doit être réalisé d'une façon covalente pour assurer sa résistance accrue au lavage quotidien, sous différents pH et doit aussi résister à la température et au soleil pour une durée prolongée.

IV-2- Résultats scientifiques

Pour répondre à ces conditions, il n'y a pas beaucoup de choix pour exécuter cette technologie. Il s'avère que le greffage des alcoxysilane ou la chimie des silanes, connue sous le nom de procédé sol-gel, permet d'obtenir des recouvrements stables et durables. L'équipe s'est engagée dans cette voie prometteuse dont elle maitrise parfaitement la chimie de ce type de molécules.

Le nombre d'expériences effectuées par le groupe entre février et mai 2021 est de 80. Ceci a permis de balayer une panoplie très large de silanes (Figures 18) qui possèdent différentes fonctions d'ancrage. D'autres molécules ont été également étudiées comme l'illustrent les Figures 19 et 20.

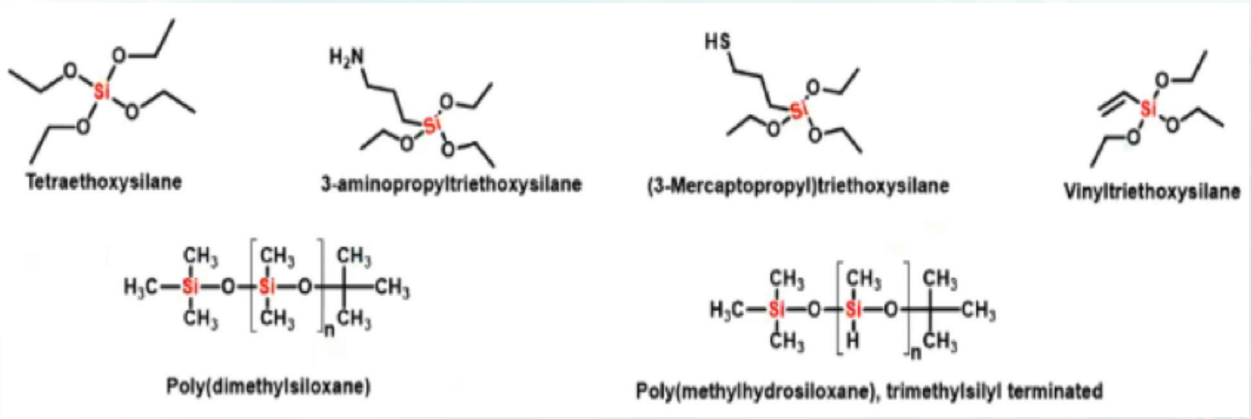


Figure 18 : Molécules de silanes étudiées pour élaborer des revêtements transparents

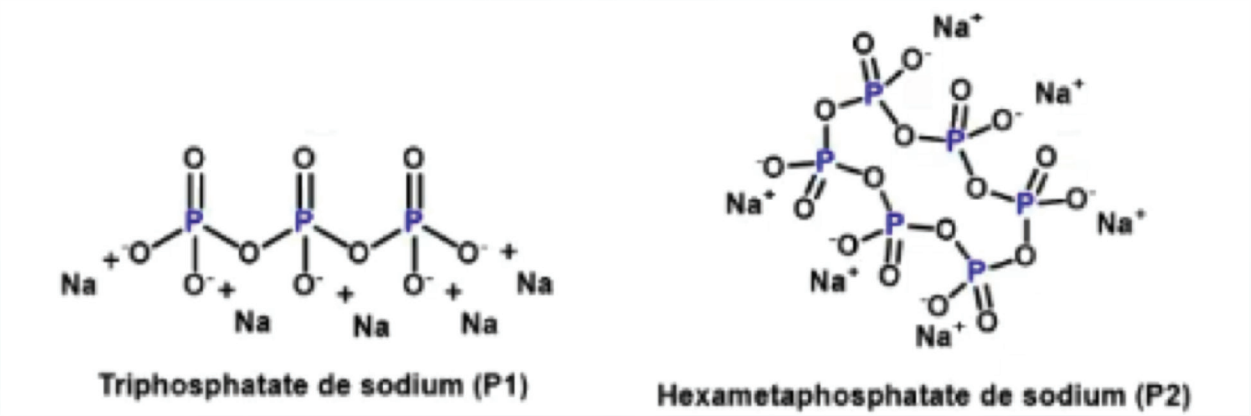


Figure 19 : Molécules de phosphates P1 et P2 étudiées

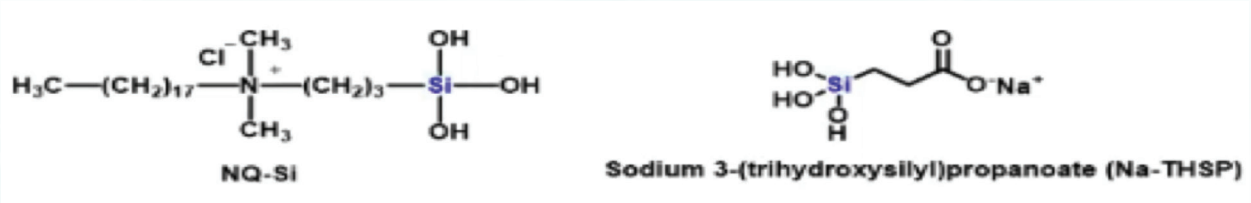


Figure 20 : Molécules de NQ-Si et Na-THSP étudiées

D'une façon un peu plus détaillée, nous exposons ici les essais relevant du composé NQ-Si.

La procérure expérimentale suivie comprend quatre étapes :

- La formulation comprend le mélange de NQ-Si et les additives pour préparer une solution stable dans le temps;
- L'activation de la lame à revêtir;
- La pulvérisation de la solution préparée contenant le principe actif.
- Une étape de séchage s'ensuit et puis, l'aspect de la lame non traitée et la lame traitée sont examinés et comparés. Les critères d'homogénéité et de transparence sont examiner visuellement avant de passer à l'échelle microscopique.

Les résultats les plus concluants ont été obtenus en utilisant le NQ-Si, un ammonium quaternaire possédant une longue chaine hydrophobe.

Les additifs étudiés :

- Bicarbonate de sodium ($NaHCO_3$);
- Pluronic P123 (P123);
- Poly(ethylene glycol) (PEG);
- 3-aminopropyl-triethoxysilane (APTES);
- Carboxyethylsilanetriol sodium (Na-THSP);
- n-Octyltriethoxysilane (OTES);
- Chitosane (CS) et oligo chitosane (oligo CS).

Dans ces travaux, il s'est avéré qu'une formulation bien définie contenant le NQ-Si, combiné à une base adéquate et un polymère stabilisant via des liaisons hydrogènes, produit un revêtement transparent sans l'étape d'activation des lames.

En effet, les agents responsables de l'activation de la surface ont été introduits dans la formulations initiales et joueraient de ce fait un double rôle : ils interviennent dans l'activation de la surface et accélèrent aussi la polymérisation de la formulation et sont dépôt. Sur la surface désirée. Ceci constitue une percée significative dans cette technologie puisque les matériaux actuellement commercialisés sont utilisés en deux étapes, ce qui n'est pas toujours attrayant dans des établissements ou l'immobilisation du matériel et de l'espace n'est pas toujours possible ni souhaitée.

Le temps de séchages des lames préparées est d'environ une heure et des tentatives s'en suivent pour essayer de réduire cette durée. Des tests d'activités antibactériennes et antivirales sont en cours de réalisation. Une demande de dépôt de brevet est en cours de préparation également.

Code	Activateur (1% pour chacun)	Echantillon	Remarques	Résultat
MAB23-1	P1+Na-THSP+$KHCO_3$	1% NQ-Si + 0,02% $NaHCO_3$ + 1% PVA	Sec après 1h	+
MAB23-2	P1+P2+$NaHCO_3$+PVA	1% NQ-Si + 0,02% $NaHCO_3$	Sec après 1h	-
MAB23-3	P1+P2+Na-THSP+$NaHCO_3$+PVA	1% NQ-Si + 0,02% $NaHCO_3$	Sec après 1h	+
MAB23-4	P1+P2+Na-THSP+$NaHCO_3$+PVA+APTES	1% NQ-Si + 0,02% $NaHCO_3$	Sec après 1h	-
MAB23-5	P1+APTES+$NaHCO_3$+PVA	1% NQ-Si + 0,02% $NaHCO_3$	Sec après 1h	-
MAB23-6	P1+APTES+$NaHCO_3$	1% NQ-Si + 0,02% $NaHCO_3$ + 1% PVA	Sec après1h	-
MAB23-7	**Sans**	**1% NQ-Si + 0,02% $NaHCO_3$ + 1% PVA + 1% $KHCO_3$**	**Sec après 1h**	**+**

Tableau 1: Principaux résultats les plus concluants obtenus dans la première phase du projet.
(- : mauvais adhésif ; + : bon adhésif)

IV-3- Les partenaires du projet

Université Euromed, Fès

Université Moulay Ismail, Meknès

ODASSIA.

DRISS OUAZAR

Omar EL FALLAH

Pôle de recherche III- Modélisation mathématique, Sciences de données massives et Intelligence Artificielle liée au Covid-19 ou d'autres pandémies

Driss OUAZAR (coordonnateur)
Collège des Sciences et Techniques de l'Environnement, de la Terre et de la Mer

Omar EL FALLAH et Youssef OUKNINE
Collège des Sciences de la Modélisation et de l'Information

Youssef OUKNINE

Le pôle comprend 3 thématiques :

1. Modélisation mathématique de la propagation du Covid-19, ou à la réponse immunitaire, physiopathologie, virologie, etc.

- modèles à plus de trois compartiments pour mieux représenter la réalité par l'introduction de paramètres liés aux catégories de personnes sensibles suivant l'âge, le sexe, différents symptômes, des comportements différents, ou une dimension spatiale intégrant l'hétérogénéité des territoires ;
- approches stochastiques, quantification de l'incertitude;
- optimisation de la logistique et de la conception de stratégies et interventions de santé publique;
- approches quantitatives socio-économiques pour les modèles épidémiologiques.

2. Intelligence artificielle (IA) pour les systèmes de tracking et biomédecine

- apprentissage automatique statistique, prévisions et inférences à partir de données pandémiques (Deep Learning, Reinforced Deep Learning, Nouveaux algorithmes);
- dispositifs scientifiques basés sur l'IA pour l'aide à la prise de décision en télémédecine;
- conception et partage d'essais cliniques pour la collecte et l'analyse de données sur les médicaments, les thérapies et les interventions;
- applications Réalité Virtuelle et Augmentée.

3. Intelligence artificielle pour l'aide à la conception des principes actifs

- approches rigoureuses pour la conception des stratégies d'échantillonnage et de test;
- protocoles médicaux Covid-19 spécifiques au génome;
- méthodes informatiques biomédicales pour la conception et la réutilisation de médicaments.

Déroulé de l'Appel

Une Commission Scientifique a été constituée des professeurs :

- Omar El Fallah
- Driss Ouazar, coordonnateur
- Youssef Ouknine

et a fait appel à d'autres scientifiques de renommée pour l'évaluation à toutes les étapes.

Statistiques

Nombre de personnes contactées : 42

Nombre de PréProjets reçus : 10

Nombre de Projets finaux acceptés : 3

Projets Retenus et Porteurs et Coordonnateurs

Projet 1 : Modélisation multi-échelle de la propagation du Covid-19: outil d'aide à la décision pour la gestion de la crise sanitaire

Porteurs : ECC-UEMF

Coordonnateur et Contact :
adnane.boukamel@centrale-casablanca.ma

Projet 2 : Plate-forme logicielle d'intégration de stratégies d'immunisation contre la pandémie Covid-19

Porteurs : UM5R

Coordonnateur et Contact :
Mohamed.elhassouni@um5.ac.ma

Projet 3 : Construction et Apprentissage de Représentation Auto-Supervisé des Graphes de Connaissances Hétérogènes et Probabilistes : Cas du COVID-19

Porteurs : UIR et al.

Coordonnateur et Contact :
mounir.ghogho@uir.ac.ma

Etat d'avancement des projets en termes de publications

Bien que la subvention ait été octroyée il y a un peu plus d'un an, six publications ont vu ou sont entrain de voir le jour :

Projet 1 :

D. Kante, A. Jebrane. A. Boukamel, A. Hakim A crowd dynamics-based approach to calculate contact matrices for epidemiological models. Frontiers in Science and Engineering, (2021) https://revues.imist.ma/index.php/fsejournal/pages/view/guidelines.(under review).

D. Kante, A. Bouchnita, A. Jebrane, A. Hakim. Characterization of super spreaders movement in a bidirectional corridor using a social force model. Results in physics (2021) https://www.journals.elsevier.com/results-in-physics. (under review)

Projet 2 :

Ferdaous Affan, Dounia Lotfi and Ahmed Drissi El Maliani. Follow Recommendation in Social Networks. The 6th International Symposium on Ubiquitous Networking Unet'21. http://www.unet-conf.org/wp-content/themes/unet2020/images/UNet21_Program.pdf

Zakariya Ghalmane, Chantal Cherifi, Hocine Cherifi, Mohammed El Hassouni, Extracting modular based backbones in weighted networks, Information Sciences, Volume 576, 2021, Pages 454-474. (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020025521006782)

Khalid Qbouche and Khadija Rhoulami, Simulation Daily Mobility in Rabat region. The 4th International Conference on Networking, Information Systems & Security, April 2021, Kenitra, Maroc. http://medi-ast.org/NISS2021/

Projet 3 :

Bahaj, A., Ghogho, M., & Benbrahim, H. COVID19-related Scientific Literature Exploration: Short Survey and Comparative Study. (to be submitted)

Modélisation multi-échelle de la propagation de la Covid-19: outil d'aide à la décision pour la gestion de la crise sanitaire

- Mots clés : Modélisation & simulation des interactions intra-et inter- lieux d'activités pour la population marocaine; stratégies de gestion d'une pandémie; modèle immuno-épidémiologique; Estimation des matrices de contacts.
- Durée prévue pour le projet : 2 ans
- Date de démarrage du projet : 21 avril 2021
- Coordinateur : Adnane BOUKAMEL, Ecole Centrale Casablanca.
- Membres : Mostapha El JAY (Université Euro Med Fès) Aissam JEBRANE (Ecole Centrale Casablanca), Anass BOUCHNITA (Département de biologie intégrative, Université du Texas à Austin), Abdelilah HAKIM (Université Cadi Ayyad), Dramane Sam Idris KANTE (Ecole Centrale Casablanca), Zhar Mehdi (Université Euro Med Fès), Saidou Noureddine (Université Euro Med Fès).

La finalité de ce projet est de développer, sur la base d'une modélisation mathématique rigoureuse, un ensemble d'outils d'aide à la décision en offrant aux dirigeants du secteur sanitaire une vision claire sur l'évolution de la situation pandémique. En effet, ces outils permettront d'établir divers plans opérationnels retraçant les démarches à suivre durant et après la période de crise, et ce afin d'aboutir à une reprise de vie normale, prévoir et contenir rapidement la propagation du virus.

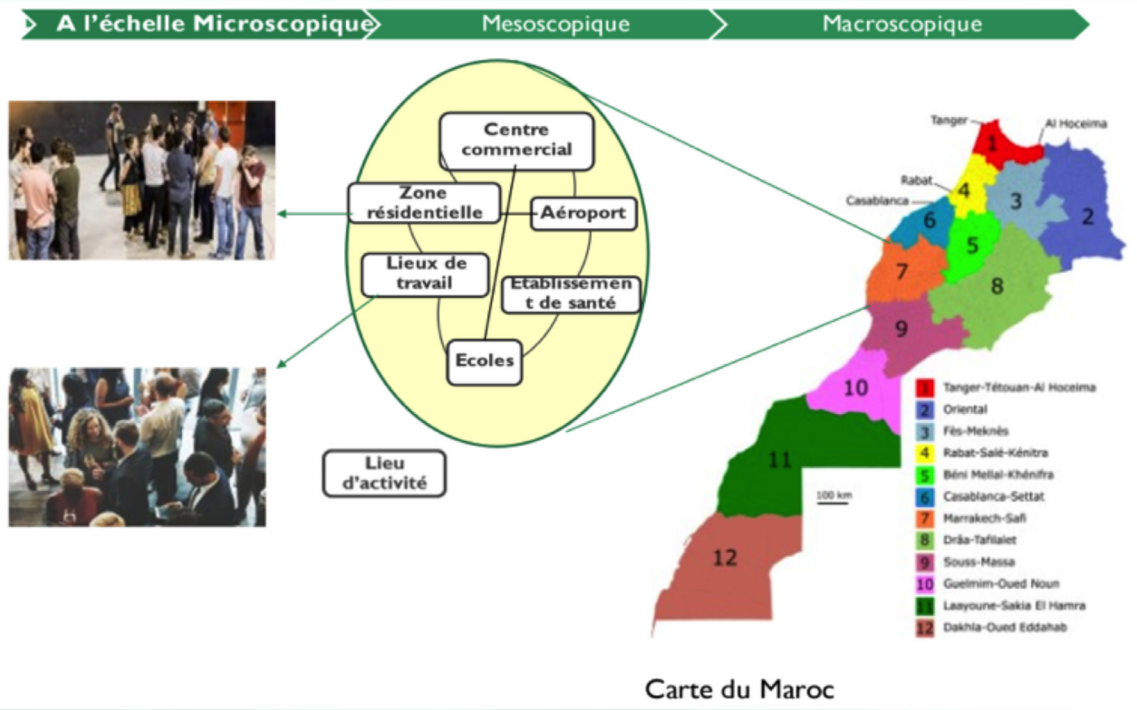


Figure 1 : Schéma illustratif du point de vue de modélisation pour le développement d'un outil d'aide à la décision pour la gestion de la crise sanitaire

Pour ce faire, nous avons opté pour une approche pragmatique, basée sur des modèles mathématiques pluridisciplinaires, couplant les modèles de transmission spatio-temporels aux modèles immuno-épidémiologiques. Ce couplage est essentiel pour la prise en compte de la complexité du phénomène à modéliser ainsi que pour l'intégration des hétérogénéités des échelles de modélisation tels que les caractéristiques comportementales, socio-culturels et démographiques de la population étudiée. La démarche est constituée de trois étapes illustrées par la figure

1. A l'échelle microscopique

Reproduire en simulation les interactions (intra-lieu d'activité) des personnes au sein des cinq principaux lieux d'activités (les zones résidentielles, les lieux publiques, les lieux de travails, les établissements d'enseignement et les centres commerciaux) en adoptant une approche spatio-temporelle tenant compte des caractéristiques socio-culturelles, comportementales, démographiques, et immuno-épidémiologique de chaque classe de population.

Cette étape constitue le premier volet dans notre planning d'exécution. Les résultats établis peuvent être résumés comme suit :

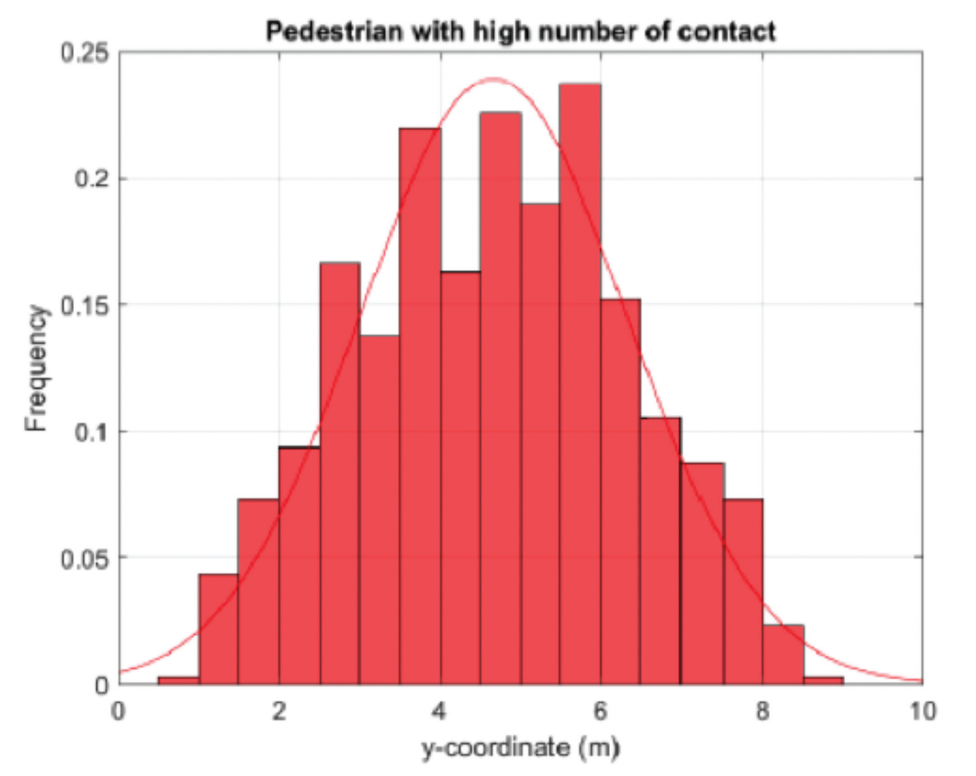


Figure 2 : Fréquence de contacts des superspreaders

La calibration et l'adaptation du modèle de déplacement des agents (une approche microscopique, précédemment développée par des membres du projet, pour simuler les flux piétonniers) au contexte de la population marocaine, pour l'identification des super-spreaders (Un super-infecteur désigne un individu qui a un taux de contact élevé et qu'il est particulièrement contagieux dans le contexte d'une épidémie) dans un lieu d'activité.

L'estimation des matrices de contact (qui sont à la base de la modélisation de la transmission des maladies infectieuses) de la population marocaine et le risque d'infection au sein de chaque lieu d'activité. L'approche adoptée consiste en l'intégration des données relatives aux caractéristiques socio-culturelles et démographiques de la population marocaine dans le modèle de déplacement des agents.

Pour finir avec la modélisation microscopique, il reste à intégrer l'évolution de la maladie depuis la période d'incubation jusqu'à la période de convalescence, vis-à-vis de l'état de santé de la population (réponse immunitaire, autres maladies, …).

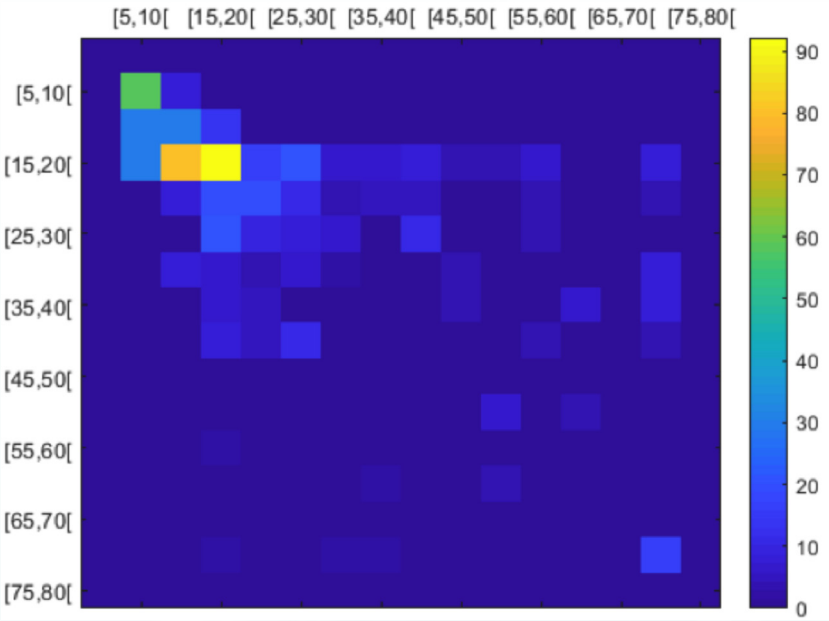


Figure 3 : Illustration des taux de contact par tranche d'âge dans le cas d'un centre commercial

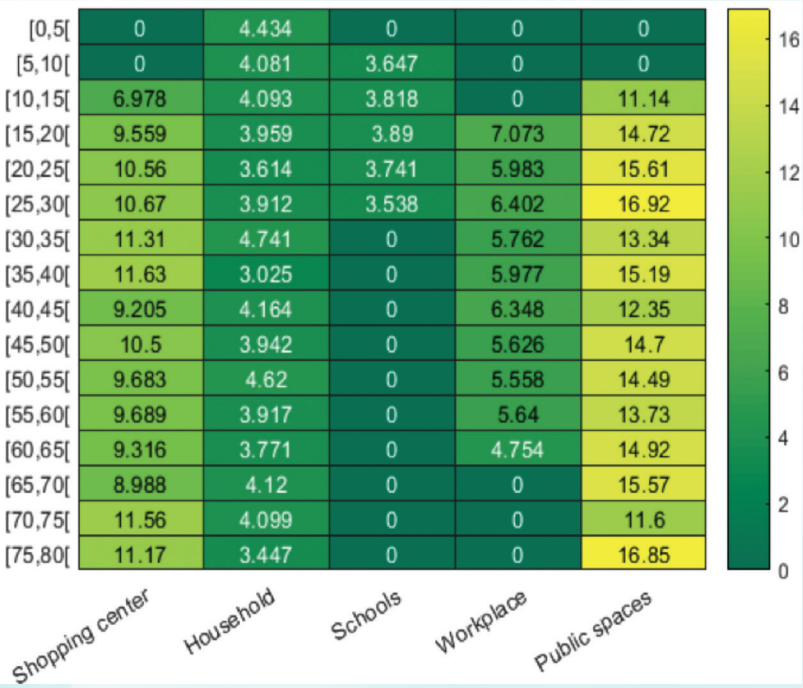
2. A l'échelle mésoscopique: modélisation des flux inter-lieux d'activité

Une fois la description de la dynamique d'infection du virus est décrite pour chaque lieu d'activité, la modélisation des flux entre les différents lieux d'activité consiste à étaler l'étude sur toute la région (un ensemble de lieux d'activité en interaction).

Ceci fourni un système de veille intelligent pour :

- Suivre de près et localement l'évolution de la situation sanitaire;
- Prédire les différents scénarios qui peuvent être produits selon les caractéristiques des populations;
- Recommander les mesures de distanciation optimales.

Une meilleure intervention dans le cas d'une nouvelle épidémie ou pandémie.



	Shopping center	Household	Schools	Workplace	Public spaces
[0,5[	0	4.434	0	0	0
[5,10[	0	4.081	3.647	0	0
[10,15[	6.978	4.093	3.818	0	11.14
[15,20[	9.559	3.959	3.89	7.073	14.72
[20,25[	10.56	3.614	3.741	5.983	15.61
[25,30[	10.67	3.912	3.538	6.402	16.92
[30,35[	11.31	4.741	0	5.762	13.34
[35,40[	11.63	3.025	0	5.977	15.19
[40,45[	9.205	4.164	0	6.348	12.35
[45,50[	10.5	3.942	0	5.626	14.7
[50,55[	9.683	4.62	0	5.558	14.49
[55,60[	9.689	3.917	0	5.64	13.73
[60,65[	9.316	3.771	0	4.754	14.92
[65,70[	8.988	4.12	0	0	15.57
[70,75[	11.56	4.099	0	0	11.6
[75,80[	11.17	3.447	0	0	16.85

Figure 4 : Concentration moyenne cumulée du virus par âge et lieu d'activité

3. A l'échelle macroscopique

En se basant sur les résultats issus de l'approche microscopique et mésoscopique, l'objectif de cette partie est l'identification des paramètres macroscopiques pour évaluer l'impact des interventions non pharmacologiques et de mettre en place des mesures préventives optimales pour réduire le risque de propagation du Covid-19 et d'accompagner la période transitoire jusqu'à la période post-crise.

Finalement, la modélisation à l'échelle microscopique et mésoscopique porte sur les aspects opérationnels et tactiques tandis que. L'échelle macroscopique est en lien avec la gestion stratégique de la pandémie.

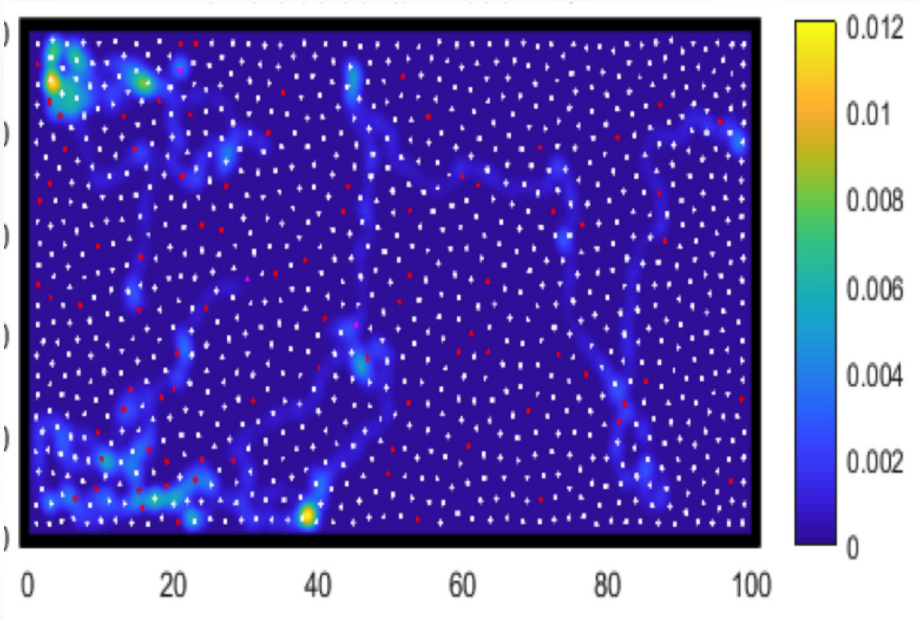


Figure 5 : Snapshot de la simulation de la concentration du virus

Références :

[1] D. Kante, A. Jebrane. A. Boukamel, A. Hakim A crowd dynamics-based approach to calculate contact matrices for epidemiological models. Frontiers in Science and Engineering, (2021) https://revues.imist.ma/index.php/fsejournal/pages/view/guidelines.(under review).

[2] D. Kante, A. Bouchnita, A. Jebrane,A.Hakim. Characterization of super spreaders movement in a bidirectional corridor using a social force model. Results in physics (2021) https://www.journals.elsevier.com/results-in-physics. (under review)

[3] A. Bouchnita, A. Jebrane. A multi-scale model quantifies the impact of limited movement of the population and mandatory wearing of face masks in containing the Covid-19 epidemic in Morocco. Math. Model. Nat. Phenom. 15 (2020) 31. https://doi.org/10.1051/mmnp/2020016

[4] A. Bouchnita, A. Chekroun, A. Jebrane Mathematical Modeling Predicts That Strict Social Distancing Measures Would Be Needed to Shorten the Duration of Waves of Covid-19 Infections in Vietnam. Frontiers in Public Health. V8 (2021) URL=https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpubh.2020.559693 DOI=10.3389/fpubh. (2020).559693

[5] A. C. Euloge Mouvoh, A. Bouchnita and A. Jebrane, A contact-structured SEIR model to assess the impact of lockdown measures on the spread of Covid-19 in Morocco's population, IEEE (ICECOCS), (2020), pp. 1-4, doi: 10.1109/ICECOCS50124.2020.9314462.

[6] A. Bouchnita, A. Jebrane, A hybrid multi-scale model of Covid-19 transmission dynamics to assess the potential of non-pharmaceutical interventions, Chaos, Solitons & Fractals, Volume 138, (2020), 109941, ISSN 0960-0779, https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.109941

Plate-forme logicielle d'intégration de stratégies d'immunisation contre la pandémie Covid-19

MOHAMMED EL HASSOUNI
Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Université Mohammed V de Rabat
Mohamed.Elhassouni@flsh.um5.ac.ma

Les pandémies menacent gravement la vie des personnes et entrainent également de graves pertes économiques pour les pays touchés, comme nous l'avons constaté récemment lors du Covid-19. Dans un monde qui connait une énorme évolution dans les grandes villes en raison du développement urbain, la vitesse de propagation du virus est influencée par les déplacements quotidiens, soit par les transports privés, soit par les transports publics. Par conséquent, la mobilité quotidienne est généralement interconnectée au comportement urbain humain.

Afin de prévenir ces pandémies ou tout au moins de contrôler leur transmission, Il est donc très important de découvrir les règles de propagation dans les groupes sociaux ainsi que dans les modèles de mobilité urbaine. La vaccination permet de protéger les personnes et de les empêcher de transmettre des maladies parmi leurs contacts. La vaccination de masse n'étant pas toujours réalisable, en raison des ressources de vaccination limitées, d'où le besoin de mettre en oeuvre des stratégies d'immunisation est accru. Ces stratégies sont d'un intérêt primordial pour la santé publique. Bien que l'immunisation et la quarantaine soient les deux mesures de base, trouver un moyen efficace d'identifier les cibles à immuniser ou à mettre en quarantaine afin de supprimer efficacement une infection demeure un problème urgent. Aussi, le développement d'un modèle basé sur les agents permet d'analyser et évaluer la dynamique de transmission de manière microscopique, en particulier dans de petites populations où le processus d'infection peut être identifié par les interactions entre leurs membres. Dans ce contexte, nous présentons des travaux de recherche en vue de proposer de nouvelles stratégies d'immunisation en utilisant plus de connaissances et de propriétés sur la structure communautaire afin de mieux identifier et immuniser les noeuds influents et de trouver un moyen d'arrêter ou au moins de ralentir la vitesse de contagion et des modèles basés sur des agents pour évaluer les risques de transmission du Covid-19 dans les localisations. Les modèles proposés doivent révéler l'ensemble des épandeurs les plus influents dans un réseau donné. Ceci permet d'offrir aux décideurs et aux acteurs de la santé publique un outil informatique permettant d'adopter une couverture vaccinale ou de mise en quarantaine spécifiques et donc assurer une atténuation de la propagation du virus.

Dans une première phase, nous avons décomposé le problème étudié en sous-problèmes afin de répondre à quelques problématiques posées par la communauté scientifique.

Algorithmes de détection de communauté et de prédiction des liens

Dans le contexte des stratégies d'immunisation dans les réseaux épidémiques, le premier objectif est de détecter les épandeurs qui feront l'objet de la vaccination. Chacun de ses épandeurs à une communauté égocentrée. Ainsi vacciner l'épandeur permettra de cibler toute sa communauté. Afin de construire une communauté à un instant 't', l'approche développée se base sur les liens existants et les liens pouvant apparaitre dans un futur temps. Cette partie du travail vise à prédire les liens entre les différents noeuds non connectés. Sont pris en considération l'orientation des liens au sein du réseau appelé réseau dirigé. La prédiction de liens est un outil fondamental dans l'analyse des réseaux complexes. Son principal objectif est de deviner les liens à apparaitre dans le future étant donné l'état actuel du réseau. Pour ce faire, une nouvelle métrique basée sur la longueur des chemins et le degré des sommets 'source' et 'destination' est proposée. Cette mesure a été appliquée sur des réseaux réels et évaluée en utilisant l'AUC (Area Under Curve). L'étude expérimentale a montré l'efficacité et la précision de la métrique proposée par rapport à l'état d'art [1].

Recherche des noeuds influents via la compréhension de la structure communautaire et la topologie des réseaux étudiés

Les réseaux sont une représentation adéquate pour modéliser et analyser une grande variété de

systèmes complexes. Cependant, comprendre des réseaux avec des millions de noeuds et des milliards de connexions peut être assez difficile en raison des contraintes de mémoire et de temps. Par conséquent, la sélection des noeuds et des bords pertinents de ces réseaux à grande échelle tout en préservant leurs informations de base est un enjeu majeur. Dans la plupart des cas, les méthodes d'extraction dites de backbone sont basées soit sur des approches à gros grain soit sur des approches de filtrage. Les techniques à gros grain réduisent la taille du réseau en rassemblant des noeuds similaires en super-noeuds, tandis que les méthodes basées sur les filtres éliminent les noeuds ou les bords selon une propriété statistique. Dans ce contexte, nous avons proposé et étudié une méthode basée sur les filtres. Elle utilise la structure de la communauté qui se chevauche pour construire l'épine dorsale des réseaux pondérés. Alors que la plupart des techniques de filtrage reposent sur des caractéristiques de lien pour extraire le backbone, la méthode proposée exploite à la fois les noeuds et les liens. Elle tire parti des communautés de réseau à travers leurs principales caractéristiques (noeuds superposés, hubs et connexions de pontage) pour sélectionner des bords et des noeuds influents tout en préservant la capacité de diffusion des informations du réseau d'origine.

L'épine dorsale de filtrage modulaire combine deux composants. Le premier est le réseau reliant les noeuds qui se chevauchent et les noeuds connectés supérieurs (également appelés hubs). Le deuxième composant utilise le réseau des liens intercommunautaires avec les noeuds à leurs extrémités. L'algorithme du filtre de disparité permet de ne conserver que ses connexions les plus cruciales. Une enquête approfondie est effectuée sur un ensemble de réseaux pondérés du monde réel de différentes tailles et d'une large gamme d'origine. Les résultats ont montré l'avantage de la méthode proposée par rapport aux méthodes alternatives basées sur le filtrage et utilisées à des fins comparatives. De plus, cela jette un nouvel éclairage sur les parties les plus pertinentes des réseaux empiriques cachées par leur complexité [2].

Modèle basé sur des agents pour évaluer les risques de transmission du Covid-19 dans les localisations

Cette partie permet de définir un modèle basé sur des agents pour évaluer les risques de transmission du Covid-19 dans les localisations. Le schéma proposé est conçu pour simuler le processus de transmission spatio-temporelle. Dans le modèle, les agents simulés prennent des décisions en fonction des règles programmées. Ces règles correspondent aux modèles spatiaux et aux conditions d'infection dans lesquels les agents interagissent pour caractériser le processus de transmission. Le modèle comprend également un profil individuel pour chaque agent, qui définit ses principales caractéristiques sociales et les conditions de santé utilisées lors de ses interactions. En général, ce profil détermine partiellement le comportement de lagent lors de ses interactions avec d'autres individus. Plusieurs scénarios hypothétiques seront envisagés pour montrer les performances du modèle proposé. Les résultats expérimentaux serviront produire des stratégies de réduction des risques de transmission du Covid-19 dans les localisations.

Pour les travaux futurs, l'enrichissement de la simulation par plus de fonctionnalités et la comparaison de l'implémentation sur GAMA et d'autres cadres de simulation pour choisir le meilleur outil de simulation sont prévus. Nous visons également d'utiliser les données ouvertes ou (Open Data) pour créer les modèles de prédiction à l'aide les techniques d'intelligence artificielle pour prévoir la situation d'épidémique de Covid-19 au Maroc.

Références

[1] Ferdaous Affan, Dounia Lotfi and Ahmed Drissi El Maliani. Follow Recommendation in Social Networks. The 6th International Symposium on Ubiquitous Networking Unet'21. http://www.unet-conf.org/wp-content/themes/unet2020/images/UNet21_Program.pdf

[2] Zakariya Ghalmane, Chantal Cherifi, Hocine Cherifi, Mohammed El Hassouni, Extracting modular based backbones in weighted networks, Information Sciences, Volume 576, 2021, Pages 454-474. (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020025521006782)

[3] Khalid Qbouche and Khadija Rhoulami, Simulation Daily Mobility in Rabat region. The 4th International Conference on Networking, Information Systems & Security, April 2021, Kenitra, Maroc. http://medi-ast.org/NISS2021/

Covid-19KG : un Knowledge Graph sur la Covid-19

1. Introduction

La pandémie Covid-19 a provoqué une forte augmentation de la production scientifique dans de multiples domaines. En effet, selon une estimation, plus de 200 000 articles de revues et prépublications – ou preprints – en lien avec le coronavirus ont été publiés en 2020. Au début, les articles se concentraient sur la propagation de la maladie, les résultats cliniques de personnes hospitalisées, et les méthodes de diagnostic et de test. Mais à partir de mai 2020, les champs de recherche se sont élargis pour inclure d'autres domaines tels que la santé mentale. Ce rythme accéléré de publications a rendu l'acquisition des connaissances sur la Covid-19 une mission difficile pour les scientifiques de plusieurs disciplines (virologie, épidémiologie, chimie, biologie, médecine, santé publique, etc.). Ceci a aussi entraîné une confusion sur les mesures préventives et curatives à employer afin de limiter la propagation du virus, particulièrement au début de la pandémie.

Ainsi, le rythme accéléré des publications a engendré la nécessité de développer des outils pour l'extraction automatique des connaissances de la littérature scientifique. Cette automatisation est basée sur le traitement du langage naturel – ou Natural Language Processing (NLP) – l'apprentissage automatique – ou Machine Learning –, et les méthodes de représentations des connaissances. Plusieurs travaux ont abordé cette tâche sur plusieurs fronts et de différentes manières. Certains chercheurs se sont concentrés sur les moteurs de recherche documentaire (Esteva A. et al.), qui sont utiles à des fins générales et à l'extraction semi-manuelle d'informations à partir de la littérature, puisque le lecteur des résultats de la recherche doit mener d'autres étapes de curation afin de satisfaire ses besoins en informations. En outre, d'autres efforts se sont concentrés sur des objectifs plus ciblés et moins généraux. Ces approches utilisent des graphes de connaissances – ou Knowledge Graphs (KG) - soit pour l'extraction d'informations ciblées, soit pour la découverte de connaissances (Kejriwal M. et al.). La première fonctionnalité peut être utilisée pour des requêtes qui nécessitent des réponses courtes, tandis que la seconde peut être utilisée pour la découverte de médicaments ou la découverte d'une relation entre le virus Covid-19 et certains gènes, produits chimiques et/ou protéines (Wang Q. et al.). De plus, la découverte des connaissances a été utilisée dans la vérification des allégations liées au Covid-19 et des résultats contradictoires (Saakyan A. et al.), ce qui est essentiel dans le développement de nouveaux protocoles de traitement et la mise en œuvre de différentes politiques publiques.

Plusieurs KG sur la Covid-19 ont été créés (Kejriwal M. et al.). Bien que ces KG présentent de multiples avantages et applications, il leur manque certaines caractéristiques clés qui les rendraient plus utiles. Le KG que nous développons dans ce projet présente des avantages sur plusieurs fronts, à savoir :

1- Contenu KG : notre graphe de connaissances ne contient pas que des concepts strictement biomédicaux ; il comprend également des concepts environnementaux, dont il a été prouvé qu'ils affectent la prolifération du Covid-19. De plus, le KG s'enrichit de bases de données bien organisées telles que le Unified Medical Language System (UMLS) (Bodenreider O. et al.) et la Comparative Toxicogenomics Database (CTD) (Davis, A. P. et al.).

2- Schéma du KG : notre graphe de connaissances contient en fait deux sous-graphes de connaissances, a) un KG de citations, qui relie les articles aux auteurs et les auteurs à leurs institutions respectives, ce qui peut être utile dans l'étude des communautés scientifiques qui étudient la Covid-19, et b) un graphe de connaissances biomédicales, qui relie plusieurs entités biomédicales aux articles de recherche dont elles ont été extraites.

3- Processus d'extraction : les données textuelles sont composées de deux aspects principaux, a) un aspect syntaxique et b) un aspect sémantique. Tous les travaux que nous avons explorés semblent se concentrer sur un aspect relatif à l'application finale pour laquelle le KG allait être utilisé. Mais dans notre cas, nous avons extrait des entités et des relations basées sur les deux aspects ci-dessus afin de pouvoir maximiser la quantité d'informations que le KG contient.

De plus, nous nous concentrons non seulement sur la construction du KG, mais aussi sur la représentation du KG, où nous représentons les entités et les relations du KG dans un espace vectoriel, qui intègre aussi bien leurs aspects structurels que sémantiques. Ces représentations peuvent être utilisées dans la découverte de connaissances, telles que la prédiction de nouvelles connexions entre des entités qui n'ont pas été établies par le processus d'extraction de relations de la littérature scientifique.

2. Méthodologie

La structure proposée pour construire et explorer notre KG est illustrée dans la figure ci-dessous. Les différentes composantes de cette structure sont brièvement expliquées dans ce qui suit.

Collecte de Données

Nous avons collecté des données à partir de plusieurs sources, que nous pouvons classer en a) sources structurées et b) sources semi-structurées. La première catégorie contient des données tabulaires, avec un identifiant unique pour chaque enregistrement, tandis que la deuxième catégorie contient des éléments de texte libre balisés qui séparent différentes unités sémantiques dans les articles (par exemple, paragraphes, sections, auteurs, institutions…). La principale source de données semi-structurées est un ensemble de données appelé CORD19 (Wang L. L. et al.), qui contient un ensemble d'articles de recherche accessibles au public, avec leurs métadonnées correspondantes. De plus, plusieurs ensembles de données structurées ont été utilisés pour la construction de plusieurs modèles de reconnaissance d'entités nommées et d'extraction de relations.

Reconnaissance d'Entités Nommées (Named Entity Recognition)

La première étape de la construction de KG est l'extraction des entités, qui seront présentées par un nœud dans le graphe. Ces entités ont différents types (par exemple, des maladies, des gènes, des protéines, des organismes, etc.). Afin d'extraire ces entités, nous utilisons certains modèles pré-entraînés de Scispacy (Neumann et al.), qui ont été entraînés à partir de plusieurs corpus biomédicaux. De plus, nous construisons notre propre modèle sur un corpus spécifique au Covid-19 appelé CORD-NER (Wang X. et al.), qui est utilisé dans l'extraction d'entités liées à Covid-19.

Extraction de Relations (Relationship Extraction)

L'objectif principal de cette phase est d'établir une connexion, qu'elle soit sémantique ou syntaxique, entre les différentes entités extraites. Ces relations peuvent être extraites à l'aide d'approches déterministes basées sur des métadonnées d'articles, où l'on découvre des cooccurrences d'entités, dans des phrases, des paragraphes et des articles. Cela établit un lien entre les entités qui apparaissent dans la même phrase, paragraphe ou article. Bien que ce type de relations puisse montrer une interdépendance entre des entités qui peuvent être employées dans un certain domaine, il peut générer des relations superflues. Par conséquent, nous avons besoin d'un autre type de méthodes d'extraction de relations basées sur la sémantique où deux entités sont connectées si et seulement si elles coexistent dans un contexte particulier dans une phrase

Construction et enrichissement du KG

Après avoir extrait les entités et les relations entre elles, nous avons construit une structure de données sous la forme d'un graphe, où les nœuds représentent différentes entités et les arêtes représentent différents types de relations qui relient ces entités. Le KG construit est ensuite amélioré à l'aide de plusieurs bases de connaissances bien organisées, telles que UMLS et CTD. Ces bases de données scientifiques organisées étendent les connaissances contenues dans le KG, et le rendent plus riche.

Représentation du KG (GK Embedding)

Afin d'appliquer des méthodes de calcul au KG, celui-ci doit être présenté numériquement. Dans cette phase, chaque nœud et chaque arête est représenté par un vecteur dans un espace multidimensionnel, où des nœud (ou arêtes) similaires sont représentés par des vecteurs similaires. Cette vectorisation d'entités et de relations permet d'appliquer des méthodes de Machine Learning pour découvrir de nouvelles connaissances, telle que la prédiction de nouvelles relations entre entités.

Prédiction de Lien

Cette étape est essentielle pour proposer de nouvelles connaissances qui ne sont pas explicites dans les données sources. Par exemple, dans le cas du Covid-19, en raison du temps nécessaire aux études génétiques et du fait que cette

pandémie est assez récente, il existe des lacunes importantes dans la compréhension des relations entre la maladie et le nombre important de marqueurs génétiques; la prédiction de liens peut être utilisée pour suggérer des connexions non encore découvertes entre la Covid-19 et plusieurs gènes.

3. Résultats préliminaires and Publications

Jusqu'à présent, nous avons pu construire un KG basé sur le jeu de données CORD19, et l'enrichir à l'aide de la base de données UMLS. Nous avons également créé un outil d'exploration visuelle qui permet de visualiser et d'explorer le graphique de manière interactive.

Concernant les publications, nous avons fait une revue de la littérature et une étude comparative sur les applications d'exploration des publications en lien avec la Covid-19 que nous comptons soumettre pour publication (Bahaj A. et al.). Nous sommes également en train de finaliser une étude sur l'unification de l'apprentissage auto-supervisé contrastif sur des graphes, ainsi qu'un travail sur la construction de CORN19 (Covid-19 Open Research Network), qui est un réseau d'articles, de leurs auteurs respectifs et de leurs affiliations respectives. Ce réseau de paternité académique peut être utilisé pour étudier la connectivité de la communauté scientifique qui s'intéresse au Covid-19 et aux disciplines connexes. De plus, il permettrait d'étudier l'évolution dans le temps de la production scientifique en lien avec la Covid-19 et du réseau de chercheurs CORD19.

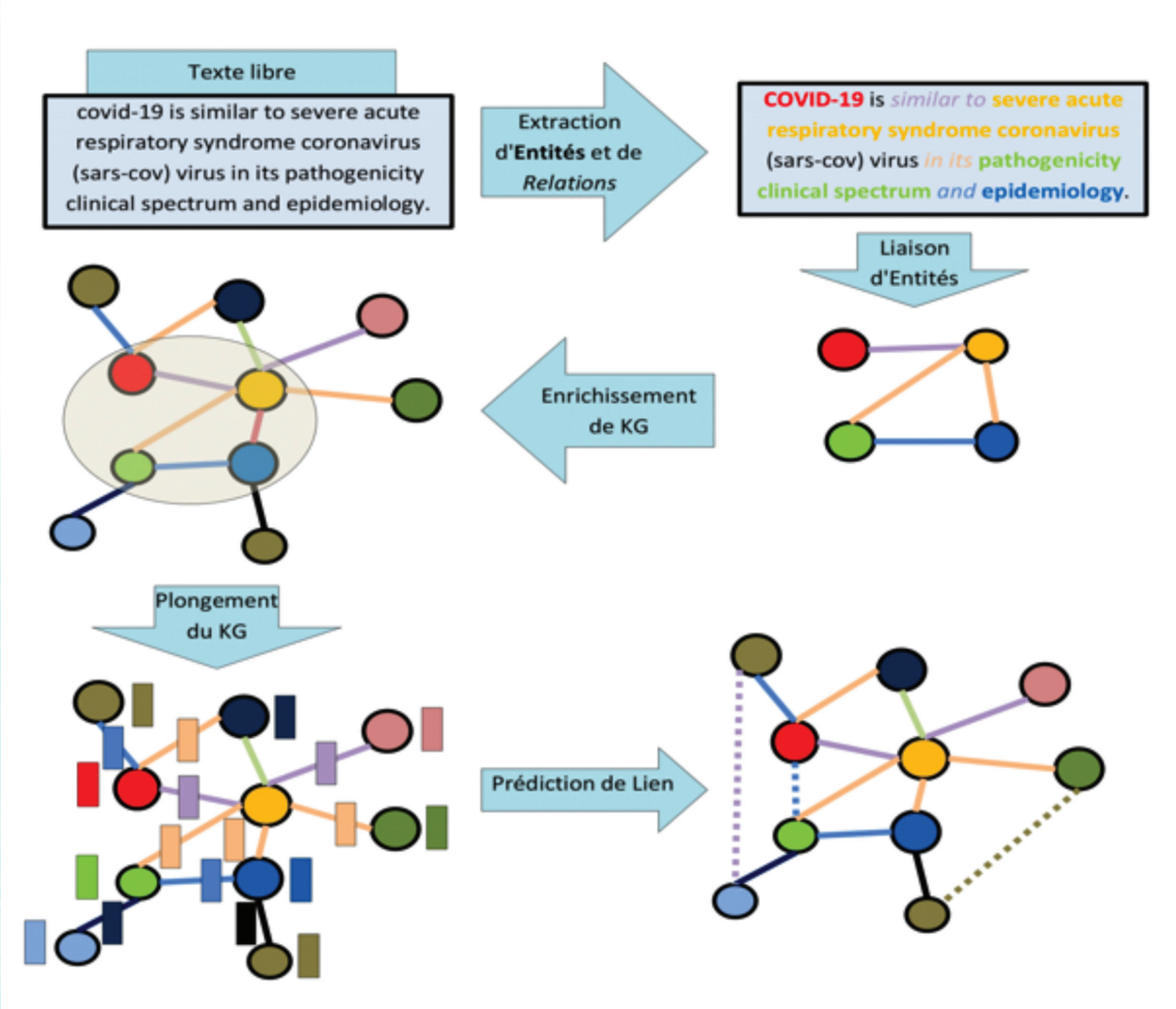


Figure : Méthodologie de construction et d'exploitation du KG proposé

4. References

Esteva, A., Kale, A., Paulus, R., Hashimoto, K., Yin, W., Radev, D., & Socher, R. (2020). Co-search: Covid-19 information retrieval with semantic search, question answering, and abstractive summarization. arXiv preprint arXiv:2006.09595.

Kejriwal, M. (2020). Knowledge Graphs and Covid-19: Opportunities, Challenges, and Implementation. Harvard Data Science Review.

Wang, Q., Mao, Z., Wang, B., & Guo, L. (2017). Knowledge graph embedding: A survey of approaches and applications. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 29(12), 2724-2743.

Saakyan, A., Chakrabarty, T., & Muresan, S. (2021). Covid-Fact: Fact Extraction and Verification of Real-World Claims on Covid-19 Pandemic. arXiv preprint arXiv:2106.03794.

Bodenreider, O. (2004). The unified medical language system (UMLS): integrating biomedical terminology. Nucleic acids research, 32(suppl_1), D267-D270.

Davis, A. P., Grondin, C. J., Johnson, R. J., Sciaky, D., McMorran, R., Wiegers, J., ... & Mattingly, C. J. (2019). The comparative toxicogenomics database: update 2019. Nucleic acids research, 47(D1), D948-D954.

Wang, L. L., Lo, K., Chandrasekhar, Y., Reas, R., Yang, J., Eide, D., ... & Kohlmeier, S. (2020). Cord-19: The COVID-19 open research dataset. ArXiv.

Neumann, M., King, D., Beltagy, I., & Ammar, W. (2019). Scispacy: Fast and robust models for biomedical natural language processing. arXiv preprint arXiv:1902.07669.

Bahaj, A., Ghogho, M., & Benbrahim, H. Covid19-related Scientific Literature Exploration: Short Survey and Comparative Study. (to be submitted)

Synthèse du 3ème Congrès scientifique de l'ASRIC

(Conseil Africain de la Recherche Scientifique et de l'Innovation)

Maladies infectieuses et menace de pandémie. Quel Agenda pour l'Afrique ?

Driss OUAZAR

Membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Membre du Conseil Africain de la Science, de la Recherche et de l'Innovation

Après l'organisation du 3ème Congrès de l'ASRIC sous les auspices de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques tenu à Rabat du 15 au 17 décembre 2020, l'ASRIC a tenu, conformément aux recommandations adoptées par le 3ème Congrès (**Bulletin N°28, pp. 29-31**), sa session scientifique sous forme virtuelle du 18 au 19 Février 2021.

Un webinaire, coordonné par le secrétariat de l'ASRIC (Commission de la recherche scientifique et technique de l'Union africaine (AU-STRC)) avec l'aide scientifique de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a ainsi permis de réunir plus d'une centaine de scientifiques africains qui ont échangé autour du thème : **Maladies infectieuses et menace de pandémie : Quel agenda pour l'Afrique ?**.

L'Académie Hassan II des Sciences et Techniques (Collèges «Sciences et Techniques du Vivant» et «Etudes Stratégiques et Développement Economique»), avec l'implication de scientifiques marocains nationaux et de la diaspora, a procédé à l'évaluation des résumés et des articles. 194 résumés ont été reçus, 47 acceptés pour une présentation orale dont finalement 20 ont été présentées avec une bonne présence des scientifiques marocains.

Après l'allocution d'ouverture du Professeur Mustapha Bousmina, chancelier de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et un mot de bienvenue du Président de l'ASRIC, Professeur Ratemo W. Michieka, des informations ont été fournies par Dr Ahmed Hamdy de l'ASRIC sur l'élection du Congrès ASRIC 2021 (Présentation des statuts de l'ASRIC et appel à candidatures pour le Bureau ASRIC à organiser lors du prochain Congrès), le congrès s'est ensuite déroulé en 3 sessions qui ont traité de :

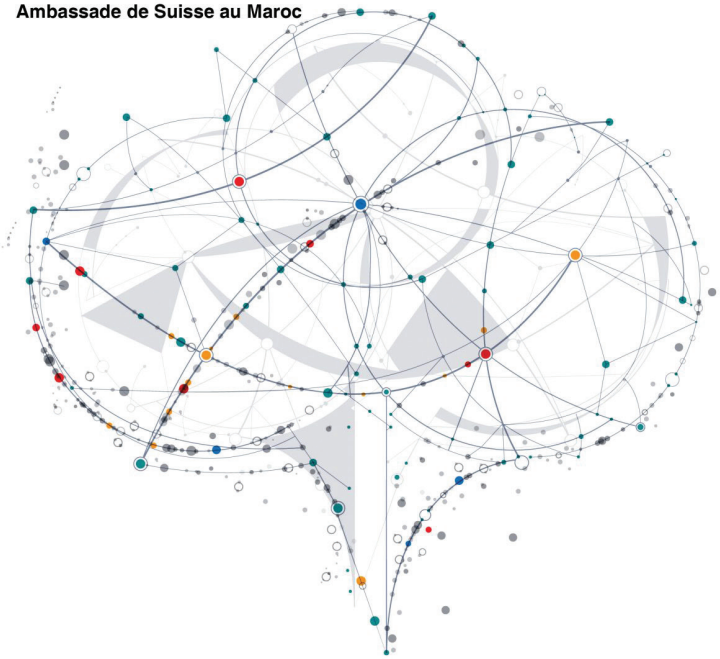
- «**Gouvernance, infrastructure et ressources du système de santé**». Le Professeur A. SASSON de l'Académie Hassan II a prononcé une allocution d'ouverture intitulée: *La pandémie Covid-19: la situation actuelle en Afrique, faits et perspectives*. Cette session a comporté six présentations;
- «**Recherche scientifique technique et innovation**» fut le thème de la session 2 qui a comporté 8 présentations. L'allocution d'ouverture «Stratégies de Modélisation de la Covid» a été prononcé par Youssef Oulhote, Department of Biostatistics and Public Health, SPHHS, University of Massachusetts Amherst Environmental and Occupational Epidemiology Program Harvard T. H. Chan School of Public Health;
- «**Impact et Dimension Socio-économique d'une Pandémie**» lors de la session 3 qui a comporté 6 présentations.

Conférences

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Ambassade de Suisse au Maroc

المملكة المغربية
ROYAUME DU MAROC
أكاديمية المملكة المغربية
Académie du Royaume du Maroc
أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات
Académie Hassan II des Sciences et Techniques



الابتكار وقضايا العصر

سلسلة المحاضرات 2021 - 2022 • الرباط - المغرب

INNOVATION & QUESTIONS DU TEMPS PRÉSENT

CYCLE DE CONFÉRENCES 2021-2022 • RABAT - MAROC

100 ans de présence diplomatique

Suisse. Maroc

Discours de Monsieur le secrétaire perpétuel à l'ouverture du cycle de conférences sur le thème

«Innovation & questions du temps présent»

Excellences,

Mesdames, Messieurs,

Je voudrais d'abord exprimer le grand plaisir que j'éprouve de participer au lancement officiel de la célébration du centenaire de la présence diplomatique de la Confédération Helvétique au Royaume du Maroc, et contribuer à la célébration de cet anniversaire qui donne l'occasion de mettre en exergue les multiples aspects bénéfiques, qui ont caractérisé un siècle de relations excellentes entre nos deux pays.

Je saisis cette opportunité pour remercier chaleureusement Son Excellence Monsieur Guillaume Scheurer, Ambassadeur de la Confédération Suisse au Royaume du Maroc pour l'invitation de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques à participer aux activités prévues dans le cadre du programme de cet anniversaire.

Et quelle meilleure façon de célébrer ce centenaire, que celle d'organiser un cycle de conférences données tout au long de l'année par d'éminents professeurs qui exercent en Suisse, sur une thématique particulièrement appropriée «**Innovation & Questions du temps présent**», une telle thématique souligne l'importance de l'Innovation, sachant que si grâce à la science on parvient à la connaissance qui permet de décrire, d'expliquer et de prédire les phénomènes naturels, l'innovation et la technique constituent une activité de transformation et de fabrication avec pour but de produire un objet matériel ou immatériel.

L'innovation nous aide ainsi à répondre aux questions qui se posent à nous; et s'agissant de la Suisse, il ne pouvait en être autrement, car la Suisse est, par excellence, le pays de l'innovation (classé dans le classement du GII <Global Innovation Index> premier devant tous les grands pays), mais c'est aussi le pays de l'excellence scientifique, qui nous a fait l'honneur de déléguer à cette occasion, une pléiade d'éminents scientifiques que nous écouterons avec plaisir sur des sujets d'actualité importants, comme le rôle de l'informatique et de l'intelligence artificielle, ou comment la révolution numérique nous aide à faire face au Covid-19; ou encore le sujet de la coopération entre pays du Nord et pays du Sud, et notamment à travers l'expérience maroco-suisse, comment développer le co-développement permettant aux deux partenaires d'être tous les deux «gagnants».

Les conférences programmées abordent la science d'avant-garde comme les sciences de l'Univers, ou encore les sciences de la vie, et même certains problèmes de société comme par exemple la question du dialogue interreligieux. Ce que l'on peut dire sans hésitation, c'est que le programme prévu pour célébrer cet anniversaire est un programme riche, faisant une place de choix à la science, à l'innovation, à l'histoire et à la culture. Voilà donc, très succinctement, le sujet des différentes conférences que nous aurons le plaisir d'écouter tout au long de l'année; en préambule à ce magnifique programme, nous avons aujourd'hui le plaisir d'écouter à cette séance d'ouverture des festivités, deux éminents historiens, Pr. Marc Perrenoud, historien suisse, et Pr. Mohammed Kenbib, historien marocain, qui vont nous présenter, tout à l'heure, deux conférences qui retracent les moments constitutifs de la relation bilatérale privilégiée de nos deux pays. Je les remercie vivement.

Mes remerciements vont également aux nombreuses personnalités et aux hauts représentants de la communauté internationale et du Ministère des Affaires Etrangères, de la Coopération Africaine et des Marocains Résidant à l'Etranger, qui nous ont fait l'honneur d'être présents ici parmi nous.

Mesdames et Messieurs,

Nous procédons donc aujourd'hui au lancement officiel de la célébration, tout au long de l'année, du centième anniversaire de la présence diplomatique de la Confédération Suisse au Royaume du Maroc, un siècle de relations entre nos deux pays établies selon un rythme progressif et soutenu, surtout depuis l'indépendance en 1956 de notre pays. La qualité de ces relations s'est traduite par la conclusion de plusieurs accords de coopération et de partenariat couvrant de nombreux domaines et secteurs de développement d'intérêt commun, notamment en matière de formation.

En fait, grâce à la qualité de son système d'éducation et de formation, la Suisse a de tout temps accueilli des marocains venus en Suisse se former; et à ce sujet je ne peux pas ne pas rappeler que le premier professeur marocain de la Faculté des Sciences de Rabat a été formé en Suisse - Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich, il s'agit du regretté Pr. Belmahi Ouazzani, dont le grand Amphithéâtre de la Faculté des Sciences de Rabat porte aujourd'hui le nom et dont la spécialité était la physique quantique.

Mesdames et Messieurs,

S'inscrivant dans le cadre des Hautes Orientations de Sa Majesté le Roi Mohammed VI que Dieu Le protège qui, dans Son Discours d'installation de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques avait souhaité «que l'Académie puisse contribuer à faire de la société marocaine une société productive, ouverte sur les sciences et les technologies de l'heure», et qui l'avait invitée à «servir le pays et contribuer au développement de la science mondiale», l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques se trouve honorée de contribuer à l'organisation de ce centenaire aux côtés de l'Ambassade de Suisse et de l'Académie du Royaume du Maroc, et de participer aux activités qui versent toutes dans le domaine de la diffusion du savoir et de la promotion des résultats de la recherche scientifique, et ce afin que la science et l'innovation occupent une place majeure dans l'échelle des valeurs nationales et permettent à notre pays d'accéder à la société du savoir.

Mesdames et Messieurs,

Permettez-moi, à la fin de cette allocution, de saisir de nouveau cette occasion pour présenter mes sincères félicitations à l'Ambassade de Suisse au Maroc pour la réussite de l'organisation de la célébration de ce centenaire, et aussi pour réitérer mes vifs remerciements aux éminentes personnalités et invités présents ici avec nous.

Je souhaite plein succès aux activités et festivités prévues pour célébrer l'anniversaire de ce centenaire et œuvrons ensemble pour que les relations bilatérales entre la Suisse et le Maroc contribuent effectivement et activement à la solution des problèmes de développement durable et au bien-être social des citoyens dans nos pays respectifs.

Merci pour votre attention.

Au premier plan : Pr Omar Fassi-Fehri, secrétaire perpétuel de l'Académie.
M. l'Ambassadeur G. Scheurer et M. R. Adghoughi, Directeur des Affaires européennes au Ministère des Affaires étrangères du Maroc ©Ambassade de Suisse

Présentation de la première conférence du cycle par Monsieur le secrétaire perpétuel de l'Académie Hassan II

Excellence M. l'Ambassadeur,

M. le Chancelier,

Mesdames, Messieurs,

Nous inaugurons aujourd'hui le cycle de conférences prévu dans le cadre des cérémonies célébrant cent ans de présence diplomatique de la Suisse au Maroc; dans ce cadre, m'échoit l'honneur de vous présenter le premier conférencier programmé Professeur Rachid Guerraoui que je remercie chaleureusement pour avoir accepté de nous honorer en donnant la conférence inaugurale; mais avant de m'acquitter de cette très agréable tâche je voudrais réitérer mes félicitations à ceux qui ont eu la lumineuse idée d'organiser un cycle de conférences de haut niveau pour célébrer cet anniversaire; je veux parler de l'Ambassade de Suisse au Maroc, de SE l'Ambassadeur Guillaume Scheurer, je veux parler aussi de l'Académie du Royaume du Maroc et de son secrétaire perpétuel, mon ami le Professeur Abdeljalil Lahjomri; bien sûr l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques s'est engagée sans hésitation dans ce programme.

Le sujet de la conférence que nous allons écouter est "**Intelligences artificielles : mythes et réalités**" par :

Professeur Rachid GUERRAOUI

Est Professeur d'Informatique à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.

Il a obtenu son doctorat en 1992 à l'Université d'Orsay de Paris Sud.

Son domaine de recherche porte sur la programmation concurrente et le calcul distribué. Il a été élu ACM Fellow en 2012.

Il est auteur ou co-auteur de plusieurs centaines de publications; dans la base WOS (Web of science), son H index atteint 30 pour plus de 4136 citations; dans la base google le son Hi, atteint même 72.

Il a été Professeur invité au célèbre MIT de Boston, en 2018-2019 il a été titulaire de la chaire d'informatique et de sciences numériques au non moins célèbre Collège de France.

En 2019 Sa Majesté Le Roi Mohammed VI, que Dieu Le garde, l'a grandement honoré en le nommant membre de la Commission Spéciale sur le Modèle de Développement qui vient de rendre son rapport à Sa Majesté.

C'est, dis-je, un honneur, c'est même aussi un plaisir, de vous présenter aujourd'hui Pr. Rachid Guerraoui, c'est un honneur et un plaisir pour plusieurs raisons, d'abord parce qu'il s'agit d'un grand scientifique, reconnu mondialement, ensuite le sujet de la conférence est d'une actualité criante, à la fois hautement scientifique et en même temps relève de la science appliquée, puisque l'intelligence artificielle concerne tous les domaines (médecine, industrie, sciences humaines, transport, commerce, finance,…).

Enfin notre conférencier est suisso-marocain, ou si vous préférez maroco-suisse, et cerise sur le gâteau, Pr. Rachid Guerraoui est le fils d'un ami Pr. Si Mohamed Guerraoui, nous étions ensemble étudiants au Département de mathématiques à la Faculté des Sciences de Rabat; vous comprenez donc pourquoi c'est un plaisir, je peux même ajouter un autre point, notre amour commun pour l'équipe de D.H. Jadidi.

Mesdames, Messieurs,

Je ne vais pas m'engager à parler de l'intelligence artificielle, notre conférencier va le faire et beaucoup mieux que je ne peux le faire, ce que je peux dire, je sais que l'intelligence artificielle, née dans les années 1950-1960, a pour objectif de faire faire des tâches humaines par des machines mimant l'activité du cerveau, l'objectif étant de croiser plusieurs techniques simulant les processus cognitifs humains.

Ceci étant dit, comme profane, je poserai quelques questions :

- Jusqu'où peut aller la machine? jusqu'à quelles limites?
- Peut-elle remplacer un jour l'homme?

C'est à notre éminent conférencier de nous donner des réponses ou des ébauches de réponse.

Pour ma part, je voudrais quand même verser dans ce débat l'argument présenté par un grand spécialiste de l'I.A. Jean Gabriel Ganascia qui affirme "dans l'évolution des sciences il y a des moments de rupture, des moments de changement de paradigme et, dit-il, ça, la machine ne sait pas faire", il donne comme exemples celui de la relativité d'Einstein, ainsi que celui de la dérive des continents et la tectonique des plaques d'Alfred Wegener.

Mesdames, Messieurs,

Avant de céder la parole à notre éminent conférencier, je voudrais remercier toutes les personnes qui ont répondu à notre invitation, je leur souhaite la bienvenue, je voudrais aussi remercier et féliciter tout le personnel de l'Académie du Royaume, de l'Ambassade de Suisse au Maroc qui nous ont assuré les meilleures conditions pour célébrer cet anniversaire.

Merci à tous.

Pr. Rachid Guerraoui vous avez la parole.

Audience de la conférence

Intelligences artificielles : mythes et réalités

Rachid GUERRAOUI

École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)

Résumé

L'inteligence artificielle est la capacité d'un algorithme à solutionner sur un ordinateur un problème que seuls les humains pensaient résoudre. Elle suscite un scepticisme chez certains et un grand espoir chez d'autres. Elle peut à la fois détruire des emplois et diagnostiquer des maladies mieux que n'importe quelle équipe de spécialistes.

Qu'en est-il vraiment ? Quelles sont ses limites intrinsèques ? Comment la maitriser ? Comment former des compétences et encourager l'innovation en intelligence artificielle ?

Je voudrais partager avec vous quelques réflexions sur l'IA. Mon discours ne s'adresse pas à des spécialistes mais si des spécialistes présents dans la salle veulent poser des questions et creuser certains points, je suis à leur disposition.

Mon objectif est de démystifier cette notion d'IA, d'expliquer ce qu'il y a derrière en termes simples, et de voir comment on peut "surfer sur la vague" de l'IA sans se faire écraser par celle-ci, parce que cette vague peut des fois ressembler à un tsunami qui peut balayer aussi bien notre culture, nos emplois, notre économie, etc.

Voici donc les 3 questions rhétoriques que je vais un peu traiter dans cette conférence: Qu'est-ce que l'IA? D'où vient sa puissance? Quelles sont ses limites?

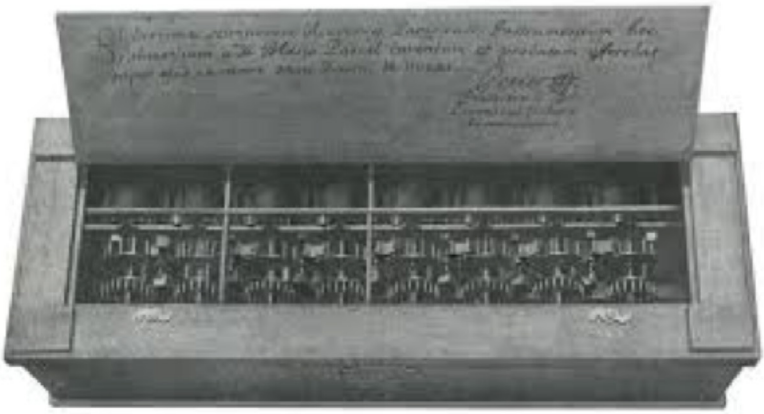
I. Qu'est-ce que l'Intelligence Artificielle?

Plusieurs définitions existent pour l'IA mais si on revient à celles données par son créateur, Alain Turing (qui fêtait son anniversaire hier), l'IA peut être définie comme la *"capacité d'une machine à résoudre un problème que seuls les humains pensaient résoudre"*. C'est une définition qui rejoint un peu le test de Turing pour ceux d'entre vous qui se sont intéressés à la question.

Permettez-moi d'illustrer cette définition sur quelques exemples.

Il y a quelques siècles, un jeune ingénieur mathématicien (Blaise Pascal), voyant son père s'échiner à faire des calculs de comptabilité chaque soir, a décidé d'aider son père et de lui fabriquer une machine (qu'on appela Pascaline plus tard) qui faisait des additions. A l'époque, on considérait que cette *Pascaline* était une intelligence artificielle car elle réalisait un calcul que nous pensions réservé aux seuls humains; d'ailleurs, on raconte que l'église a fini par brûler les quelques exemplaires qui existaient, car elle considérait que c'était l'œuvre du diable.

Blaise Pascal



La Pascaline

Quelques siècles plus tard, l'addition n'était plus quelque chose de réservé à l'humain; par contre, d'autres activités étaient considérées comme réservées à l'humain comme par exemple les jeux d'échecs. C'était considéré comme le signe ultime d'intelligence humaine. Au lendemain de la guerre froide, l'URSS avait de grands joueurs d'échecs qui battaient à plate couture les américains et la propagande soviétique considérait que c'était le signe de l'intelligence du régime soviétique par rapport au régime «décadent» américain.

Deep Blue: 1997. Pour se rattraper, les américains vont fabriquer une machine IBM qui allait quelque part «venger» les joueurs américains et battre les soviétiques. C'était considéré comme imposible à l'époque: il y a des émissions de *France Culture* en particulier qui racontent cette épopée de la machine contre l'homme. Au début, le KGB était persuadé que c'était de la triche, qu'il était impossible qu'une machine batte l'homme aux échecs. Mais on appela cela de l'Intelligence artificielle. Aujourd'hui, le moindre téléphone peut *downloader* des jeux d'échecs et battre tous les champions du monde en une fraction de seconde. Mais c'était considéré comme de l'IA, il n'y a pas si longtemps. Aujourd'hui, ça ne l'est plus. L'effet de surprise est passé.

Jeopardy: 2011. Et puis quelques années plus tard, on a considéré que la maitrise des jeux d' échecs n'était pas vraiment un signe d'intelligence car il s'agit "juste d'explorer un champ de possibilities" et les machines peuvent faire ça vite, et donc ce n'est pas étonnant qu'elles battent les humains. Par contre, il y a des jeux comme "*Questions pour un champion*", ou sa version américaine "Jeopardy", qui seraient plus de l'intelligence, car il faut analyser une question, aller chercher la réponse, etc. et on pensait que c'était impossible qu'une machine y arrive. IBM toujours, avec l'aide de certaines universités américaines, réussit à faire une machine qui va battre tous les concurents de Jeopardy. Là on s'est dit "ça c'est de l'IA".

Plus tard, on a pensé que tout ça ce n'était que des jeux, mais qu'il y a peut-être des activités spécifiques à l'être humain, comme l'art par exemple: peindre des tableaux qui ressembleraient à ceux des grands maîtres. Et là on a pensé que les machines ne pourront jamais égaler l'homme. On s'est de nouveau trompé car une petite boite hollandaise a réussi à concevoir des algorithmes qui imitent Rembrandt (2016)

Quand on y pense à posteriori, ce n'est pas surprenant car un tableau est un ensemble de pixels, donc de points de différentes couleurs, en particulier blanc et noir avec des nuances de gris. Et si on voit un petit peu ce que faisait Rembrandt par rapport aux sous-ensembles de points, on peut se dire: un algorithme pourrait faire la même chose. Et c'est ce qui s'est passé: un algorithme a reproduit un chef d'œuvre, et les experts du musée ne pouvaient plus distinguer le vrai Rembrandt du faux. Et là on a dit: ça c'est de l'IA.

Et puis, il y a eu d'autres effets de surprise; je cite rapidement:

- **Le poker: 2018**. La caractéristique du poker est qu'il faut mentir pour gagner et on pensait que le mensonge était le propre de l'homme et que la machine ne pourrait pas mentir. On s'est trompé : des ingénieurs ont créé des machines qui, à Las Vegas, ont battu les meilleurs joueurs de poker en imitant l'homme dans le sens où elles bluffaient aussi;
- **Le jeu de Go (2017)** qui est différent des jeux d'échecs parce que le nombre de possibilités, même pour l'ordinateur le plus puissant, est impossible à parcourir. L'ordinateur ne pourra pas tout contrôler: il faut de l'intuition et un petit peu de hasard. Et là, pareil, certaines sociétés ont crée des algorithmes qui ont battu des humains au jeu de Go (2017), ce qui était considéré comme impossible avant.

  Ce qui est très intéressant, c'est que si la première version de la machine qui a battu le champion du monde avait été entrainée par des

champions de GO, la 2ème version par contre s'est entrainée toute seule: on a commencé à faire des algorithmes qui s'entrainent tous seuls; on leur donne juste les règles et puis l'algorithme joue contre lui-même, se trompe, apprend, améliore sa stratégie et au bout d'un certain temps, bat tout le monde. C'est effrayant quand on pense à la complexité de ce genre de jeu.

Alors si on a parlé beaucoup de jeux, c'est que souvent, cela a été utilisé comme une espèce de benchmark, de référentiel pour montrer à quel point les ordinateurs, les machines pouvaient aller loin.

Évidemment, il y a d'autres domaines où on a été surpris par l'intelligence des machines, la médecine en particulier.

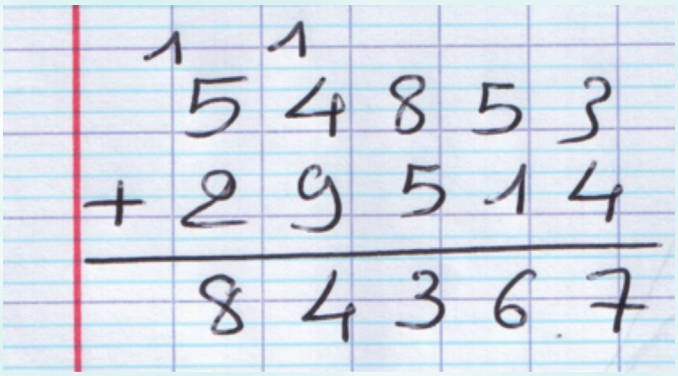
Si je prends une photo d'un grain de beauté et que je l'envoie à un ordinateur, il va me dire si j'ai une probabilité d'avoir un cancer beaucoup plus fiablement que les meilleurs dermatologues du monde. A ce propos justement, les algorithmes sont beaucoup plus efficaces que les humains pour détecter certaines maladies à partir d'images radio. Donc, dans certains domaines comme la médecine, on a déjà dépassé l'être humain et on a dit que c'était de l'IA. Bien entendu, ces algotithmes sont à la base créés par des informaticiens chevronnés, en coopération avec des médecins; mais ils peuvent traiter beaucoup plus de données que tous les médecins réunis, 24h/24h et hyper vite. Ils sont capables de cela grâce aux systèmes informatiques sur lesquels ils sont déployés.

Pour avancer dans la définition de Turing, de ce qu'est l'IA, vous remarquerez que cette définition est très relative, très éphémère, puisque l'effet de surprise passé avec le temps rend la notion de l'IA un peu trouble, un peu floue.

En fait, je n'aime pas trop le mot IA : son seul avantage, c'est qu'il permet en général de remplir les salles.

Je vais néanmoins faire avec vous un petit bout d'histoire pour essayer de comprendre pourquoi, aujourd'hui, les ordinateurs sont devenus aussi extraordinaires.

Il faut revenir très loin en arrière pour comprendre ce qui se passe aujourd'hui. Aujourd'hui, on dit que l'IA est la capacité d'une machine à résoudre un problème que l'on pensait reservé aux humains. Si l'on se projette quelques siècles en arrière, on avait presque la même situation; sauf qu'à la place des machines, on avait des mathématiciens dont le but était d'aider leurs semblables pour qu'ils puissent aussi résoudre des problèmes, comme s'ils étaient des mathématiciens. On voulait donc que les gens "normaux" aient l'air intelligent, comme les machines le sont considérées aujourd'hui. Prenons le cas de l'addition: au neuvième siècle, on ne savait pas faire des additions; mis à part quelques mathématiciens, personne ne savait faire des additions. Vous allez me dire, c'est facile les additions. Sauf qu'en ces temps-là, on utilisait les chiffres romains. Et si vous écrivez 2 grands nombres avec des symboles romains, pour les rajouter l'un à l'autre, c'est incroyablement compliqué. Il a fallu beaucoup d'ingéniosité à certains mathématiciens pour changer de représentation des données, d'aller vers une représentation astucieuse des symboles qui permettent la fameuse retenue que l'on fait dans l'addition.



Nous sommes au 9ème siècle, dans la cour de Bagdad. Le grand Calife Al Mamoune avait demandé à un grand mathématician, Al Khawarizmi en l'occurrence, de faire en sorte que tout le monde puisse effectuer des additions.

Le grand Calife de Bagdad, Aaron le Sage, celui des mille et nuits, voulait que sa ville soit plus prestigieuse que Byzance; il décida d'y construire une grande bibliothèque et d'y avoir les plus grands ouvrages de l'époque; Il engage entre autres un jeune traducteur, dénommé Mohammed Alkhawarizmi et lui ordonne de

AL KAHAWARIZMI

EUCLIDE

traduire "Les Eléments d'Euclide" en Arabe. Après la mort du Calife, son fils cadet devenu Calife a la place de son frère ainé qu'il venait d'assassiner, voulut aller plus loin que son père: non seulement il voulait que Bagdad soit plus prestigieuse que Byzance, mais que le peuple de Bagdad soit plus instruit que celui de Byzance; Il édifia le Collège de Bagdad et, signe extrême de sagesse, employa des professeurs, les paya très bien et les invita à sa cour.

En particulier, il demanda à son traducteur, passé au statut de professeur de mathématiques, d'enseigner au plus grand nombre comment résoudre des calculs complexes; Al Khawarizmi rédigea un livre de recettes appelé Algèbre; parmi celles-ci, il y en avait par exemple une destinée aux juges: Il s'agissait d'une recette leur permettant de savoir quelle surface d'un terrain revenait à chaque héritier; plus précisément, il fallait calculer la largeur d'un carré de terrain, dont la surface rajoutée à la surface des autres héritiers, plus ou moins une valeur soit égale à une certaine valeur. Les paramètres de cette équation, que nous appelons aujourd'hui équation du second degré, dépendaient bien entendu du nombre d'héritiers, mais aussi de la religion du défunt: juif, musulman, chrétien, zoroastrien.

Qu'a donc fait Al Khawarizmi en fait? Il a fait de l'IA parce qu'il a permis à n'importe qui d'avoir l'air intelligent en lui proposant un algorithme[1] d'addition. Et c'est exactement ce qu'on fait aujourdhui: on donne à des machines des algorithmes qui leur permettent d'avoir l'air intelligent. Cette notion d'IA, a été appliquée jadis à des humains. Et avant Al Khawarizmi, il y en avait d'autres qui avaient fait cet exercice: Euclide avait déjà conçu des algorithmes permettant à n'importe qui de résoudre des problèmes. Et d'ailleurs AlKhawarizmi avait traduit Euclide, ce qui lui a probablement permis de comprendre tout un tas d'algorithmes.

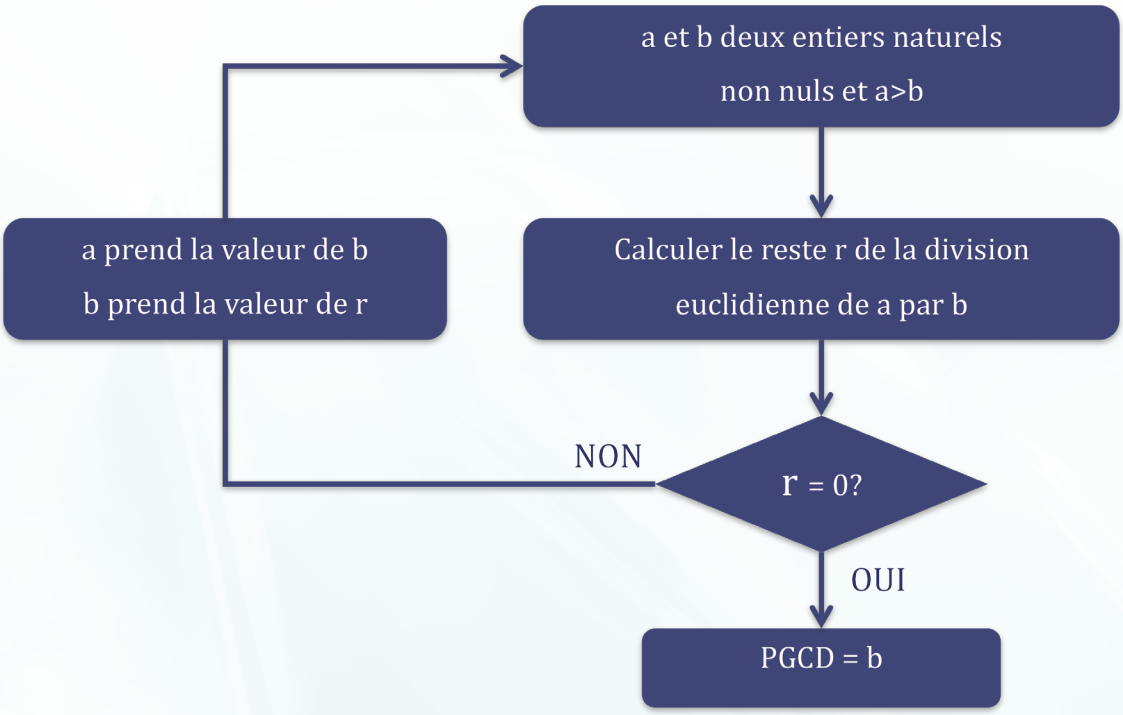
1- Algorithme (*)

Le mathématicien de l'époque utilisait des identités remarquables; un mathématicien plus altruiste, Al Khawarizmi, proposa une recette pour que l'homme de loi puisse résoudre l'équation et déterminer x: la longueur du carré de terrain qui revenait à chaque héritier.

Pendant plusieurs siècles, les mathématiciens altruistes proposaient des algorithmes : n'importe qui pouvait exécuter ces algorithmes (sans forcément comprendre pourquoi ça marchait)

Un moine, Adelard de Bath, lut le livre Algèbre et suggéra quelques 3 siècles plus tard d'appeler ces recettes des algorithmes.

Le calculateur était l'être humain: il se comportait comme une machine en suivant à la lettre les instructions de l'algorithme.



Alors, un petit exemple que vous connaissez tous : quand vous essayez de résoudre une équation du second degré de type :

$$\boldsymbol{ax^2 + bx + c = 0}$$

et vous faites $\Delta = \boldsymbol{b^2 - 4ac}$ et vous continuez machinalement :

$$\begin{cases} x = -b/2a \text{ si } \Delta = 0 \\ x_0 = (-b-\sqrt{\Delta}) / 2a \text{ et } x_1 = (-b+\sqrt{\Delta}) / 2a \text{ si } \Delta > 0 \\ \text{Pas de solution sinon.} \end{cases}$$

Vous faites de l'IA et vous faites la machine qui a l'air intelligente, parce que vous ne savez pas pourquoi ça marche. Mais si vous essayez de comprendre comment ça marche, c'est incroyablement compliqué. Ce sont des identités remarquables très complexes.

La notion d'IA s'appliquait à des humains, qui ont eu l'air intelligents.

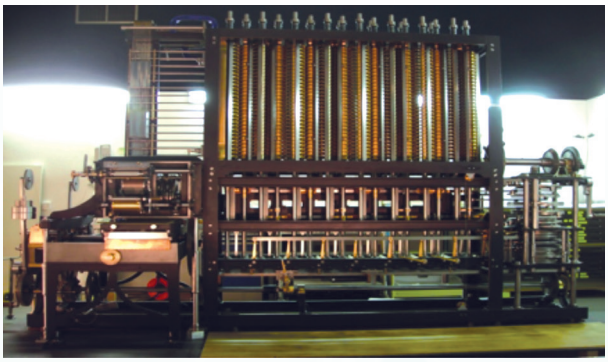
Là où les choses deviennent intéressantes, c'est qu'à un moment, on s'est dit : «*puisque les êtres humains peuvent avoir l'air intelligents en exécutant des instructions machinalement, pourquoi ne pas construire des machines qui font cela?*»

Et c'est exactement ce qu'a fait Pascal; il a juste franchi le pas en se disant que puisque les humains réalisent des additions sans réfléchir alors c'est à la portée d'une machine. Il a donc créé une machine dans laquelle il a câblé l'algorithme (je parle d'algorithme donc de recette). Et puis certains autres ingénieux ingénieurs sont allés un peu plus loin. Leibnitz a construit une machine qui faisait des multiplications. Mais la machine de Pascal ne faisait que des additions et celle de Leibnitz que des multiplications. L'algorithme, le procédé, était câblé dans la machine.

Quelques siècles plus tard, on s'est dit : «*mais pourquoi ne pas faire une machine qui ressemblerait à l'être humain dans le sens où on lui donnerait l'algorithme (la procédure)? La machine digérerait cet algorithme et ensuite elle l'exécuterait*».

Plusieurs scientifiques ont essayé de faire cela, dont la fameuse Ada Lovelace que certains d'entre vous connaissent peut-être et que j'aime beaucoup citer pour rappeler aux jeunes femmes que le numérique (ou l'informatique) n'est pas une science masculine. La première personne qui a essayé de construire une machine qui ressemblerait à l'être humain dans le sens où elle pourrait apprendre pleins de recettes (ou d'algorithmes) et les exécuter était une femme. Malheureusement, elle est décédée assez jeune et n'y est pas arrivée.

Celui qui y est arrivé est un certain Alain Turing qui lui a vraiment fait de l'IA dans le sens où il a créé une machine à laquelle on pouvait apprendre des techniques. On pouvait lui apprendre des algorithmes d'addition, de multiplication, etc…; il ne fallait pas le câbler dans la machine. C'est cette machine universelle de Turing, qui nous permet aujourd'hui d'avoir des machines qui font plein d'algorithmes. Sans la notion de machine universelle de Turing, on aurait aujourd'hui des ordinateurs pour les additions (comme la machine Pascal), des ordinateurs pour les multiplications (comme la machine de Leibniz), ou alors un algorithme pour projeter des transparents, etc. Cette notion de machine universelle c'est, quelque part, très proche de l'humain dans le sens où il suffit de nous dire quoi faire et en général on y arrive. Cette machine universelle a été un grand tournant dans l'histoire du numérique.



Machine universelle

Le premier développement ou production de machines en masse a commencé en 1954, suivant le modèle de Turing qui savait faire plein de choses. C'est à ce moment-là que l'IA a, comme on dit aujourd'hui, pris son envol.[2]

Algorithmes + Machines = Numérique

Alors quels sont les 2 ingrédients de cette révolution, de ce tsunami que l'on voit aujourd'hui? Moi je préfère parler d'algorithmes et de machines. Les algorithmes existent depuis Euclide, Al Khawarizmi, … et les machines existent depuis Alain Turing. Et c'est la combinaison des deux qui fait qu'on arrive à battre les humains au jeu de Go, aux échecs, etc. Et cette combinaison des 2 a un nom : le numérique ou les sciences du numérique.

Donc ce qui nous étonne en fait aujourd'hui, c'est le résultat de 2 choses : une branche des mathématiques et des technologies (les machines). Cette combinaison-là s'est avérée incroyablement puissante.

L'IA est juste une prouesse du numérique, à un moment donné

Je voudrais donc relativiser officiellement cette notion d'IA : l'IA n'est qu'une prouesse à un

2- **1954 : IBM 650**

Turing se suicida en 1954; il était traqué par la justice britannique au nom de valeurs peu universelles. L'année de sa mort coïncida avec le début de la production en masse des ordinateurs: Le 1er ordinateur fourni en grande série: ce fut à l'informatique ce que fut la Ford T à l'automobile. A peine ½ million de dollars; il tenait dans une seule pièce et pouvait inclure 2000 mots. L'importation en France posait un problème: comment appeler cette machine; Jacques Perret, professeur à la Sorbonne pensa à «Congesteur» ou «Digesteur» mais se ravisa, «Synthétiseur» ne parût pas assez nouveau pour désigner un nouvel objet à «markertiser»; Il proposa «Ordinateur». Adjectif désignant Dieu qui met de l'ordre dans le monde dans le Littré. IBM en garda le nom jusqu'en 1965

Tous les ordinateurs ont depuis été conçus suivant le modèle universel de Turing. C'est grâce à cette universalité que nous pouvons aujourd'hui acheter un ordinateur pour tout faire. Autrement, il faudrait un ordinateur pour aller sur Internet, un autre pour faire des calculs, un troisième pour écrire ou faire des présentations comme celle-ci, etc. Par ailleurs, c'est aussi grâce à cette universalité que nous avons aujourd'hui une science informatique; nous avons développé une approche conceptuelle qui nous permet de prouver des algorithmes en prouvant leurs propriétés de manière abstraite; de les tester sur une machine et de les déployer sur une autre, car nous savons que toutes les machines obéissent au même modèle.

moment donné du numérique. C'est juste un exploit du numérique qui nous semble étonnant et on dit : «ça c'est de l'IA» et puis le lendemain, on n'appelle plus ça comme ça. Ce qui est fondamental par contre, c'est la science du numérique.

II. D'où vient la puissance du numérique?

Je vous ai déjà donné quelques éléments en vous disant que c'est la combinaison des algorithmes et des machines. Mais il n'y a pas que ça. Ce qui fait qu'aujourd'hui, le jeu de Go, le jeu d'échecs, les dermatos sont des jeux ou des métiers mieux exercés, mieux joués par des machines, c'est plus que «la machine et l'algorithme». Il y a eu quelques éléments fondamentaux dont je vais vous donner un petit aperçu parce que ces éléments fondamentaux non seulement expliquent la puissance du numérique mais ils expliquent aussi les dangers du numérique. Ce sont les mêmes.

Donc d'où vient la puissance du numérique? Il y a deux ingrédients : l'algorithme et les machines. Je vous ai parlé des algorithmes d'addition, des algorithmes de multiplication, qui sont très puissants; mais il y a eu une rupture dans la conception des algorithmes et cette rupture-là a consisté à concevoir des algorithmes qui s'amélioraient avec le temps. L'addition, la multiplication ne s'améliorent pas avec le temps. C'est vous qui vous améliorez.

1. Des algorithmes qui apprennent

La petite rupture a consisté à dire «et si on faisait comme les enfants !». C'est encore dans un article d'Alain Turing de 1942, je pense, où il explique que si on voulait vraiment créer de l'intelligence artificielle, il faudrait démarrer par des algorithmes simples, comme le cerveau d'un enfant, lui permettre d'essayer des choses et d'apprendre. Donc des algorithmes qui apprennent.

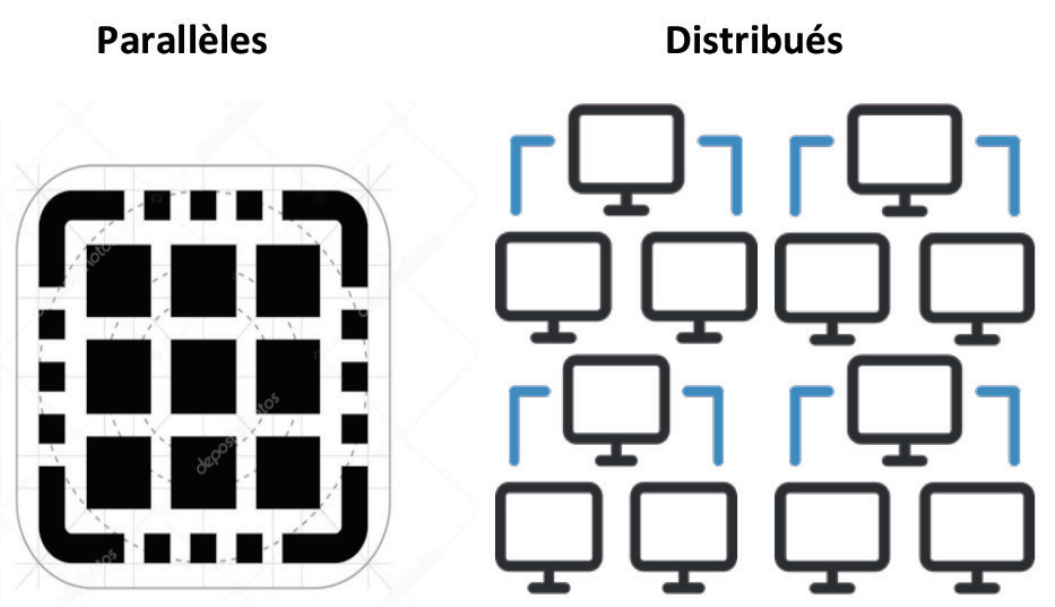
Si vous regardez aujourd'hui sur YouTube, vous allez voir qu'il vous recommande des choses et qu'il fait de moins en moins de fautes sur ce qu'il vous recommande. Ce qu'il va vous proposer au bout d'un certain temps va de plus en plus vous plaire. Et les statistiques montrent que, par exemple sur YouTube, les 2/3 de ce que vous regardez sont des choses que l'algorithme de YouTube vous a proposé, que vous n'avez pas choisi. Bien sûr, ça ne marche qu'au bout d'un certain temps parce que l'algorithme apprend. Qu'est-ce qu'il apprend? Il apprend ce que vous avez aimé et ce que vous n'avez pas aimé. On n'est plus dans l'addition. C'est comme un agent immobilier qui démarre son travail; le premier jour, il essaie de vendre un appartement. Un couple arrive auquel il essaie de montrer les avantages de cet appartement en disant par exemple qu'il y a une cour à l'intérieur de l'immeuble dans laquelle les enfants peuvent jouer et si ça se trouve, il va faire peur à ce couple qui n'a pas d'enfants et qui ne veut pas que les enfants jouent dans la cour. En faisant cette erreur et d'autres, il va apprendre à reconnaitre des clients et affiner son algorithme. C'est exactement ce que fait YouTube : c'est comme un agent immobilier qui apprend le métier. Et aujourd'hui, les algorithmes qui nous surprennent sont des algorithmes qui, comme un enfant, apprennent leur métier en se trompant au début, et ça, c'est crucial.

Donc, la capacité de se tromper est ce qui rend l'algorithme intelligent au bout d'un certain nombre de fois; et ça, c'est le premier ingrédient qui explique le pourquoi de la puissance des machines. Le deuxième étant de pouvoir mettre des machines en réseau et c'est ce que je vais présenter maintenant.

2. Des réseaux de machines

Encore une fois, je fais un très bref rappel historique. 1954, IBM a commencé à construire ses premières machines. Les processeurs (le coeur de la machine) étaient construits par Intel, une boite américaine. L'un des ingénieurs créateur d'Intel, Gordon Moore, avait prédit que tous les 18 mois, la vitesse des proceseurs allait doubler. Sa prédiction a tenu quelques années mais au bout d'un moment, on s'est aperçu que si sa prédiction durait encore, chaque ordinateur dégagerait en 2020 autant de chaleur que le soleil. Donc, cette manière de faire ne pouvait pas durer. On a alors réalisé qu'on pouvait atteindre le même résultat en mettant ensemble les ordinateurs. Il y a eu ce qu'on appelle la **mise en réseau**, soit l'infiniment petit des processeurs dans une machine, soit l'infiniment grand sur Internet.

Cette mise en commun des machines, combinée avec des algorithmes qui apprennent parce qu'elles ont une grande quantité de données qu'elles peuvent utiliser, explique pourquoi les choses sont allées très vite.



- **1960 : la machine distribuée**

Au lendemain de la 2ème guerre mondiale, les américains avaient compris l'utilité de l'ordinateur; en particulier, leur ministère de la défense. Des informations stratégiques militaires étaient stockées dans un ordinateur et traitées par des algorithmes. Comme on le voit parfois dans les films, ils y stockaient les dossiers des agents secrets, (les leur et ceux des autres). Les soviètiques étaient un peu en retard sur les ordinateurs mais ils avaient des fusées. Et quand ils ont lancé leur Spoutnik, les américains ont eu peur de se faire bombarder leur système informatique avec toutes les données critiques.

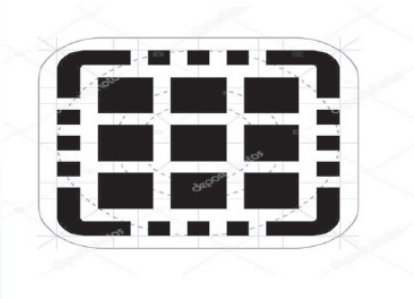
La solution adoptée par les américains était simple, en tout cas en apparence: il fallait dupliquer ces informations sur plusieurs ordinateurs et les mettre à différents endroits du pays, certains sur la Côte-Est et d'autres sur la Côte-Ouest; si un site était bombardé les données n'étaient pas perdues. Seulement, en cas de mise à jour de ces informations il était important que les duplicas soient dans le même état. Si on décidait que 007 n'avait plus le droit de tuer, il fallait que l'information soit mise à jour sur l'ordinateur de la Côte-Est ainsi que celui sur la Côte-Ouest.

Kleinrock, étudiant au MIT à l'époque, proposa le protocole TCP IP pour faire communiquer les ordinateurs: le réseau était né; chaque modification faite sur un ordinateur était répercutée sur les autres à travers le protocole de communication. On commenca à parler de clients et de serveurs: les serveurs étaient les machines stockant les données critiques dupliquées et les clients étaient les machines utilisées pour accéder à ces données et les mettres à jour à travers le réseau. C'étaient les machines utilisées par les généraux et les chefs des services secrets.

Atomicité: illusion d'une unique machine

L'algorithme chargé de la coordination entre les clients et les serveurs était un algorithme réparti: parmi ses instructions élémentaires, il y avait des envois de message. L'objectif de cet algorithme était d'assurer deux propriétées: la robustesse et l'atomicité. Le robustesse signifie que si une machine serveur est bombardée, les clients peuvent continuer à accéder à l'autre : L'atomicité signifie que les serveurs étaient percus par les clients comme une seule machine. Soit 007 a le droit de tuer, soit pas: les serveurs devaient à tout moment avoir la même information, ou du moins en donner l'illusion. Assurer cette propriété d'atomicité signifiait que le réseau, et plus exactement les serveurs, agissait comme une machine de Turing. Transposer le modèle universel de Turing sur une machine répartie par un réseau revenait à assurer cette propriété d'atomicité.

- **2000 : la machine parallèle**



Pourquoi ce résultat sur la mémoire partagée est important?

Je vous ai dit tout-à-l'heure que la guerre froide a révolutionné l'informatique de l'infiniment grand grâce à l'invention des réseaux, qui nous a donné Internet mais qui nous a fait perdre l'universalité. Mais je vous ai dit aussi qu'il y a eu un autre phénomène qui a révolutionné l'informatique de l'infiniment petit pour le meilleur, c'est-à-dire l'efficacité et le pire, c'est-à-dire la perte de l'universalité.

Laissez-moi vous en dire quelques mots :

En 1950, les premiers ordinateurs étaient massifs et lents. Mais tous les ans, ils diminuaient de taille et doublaient de vitesse: cela était dû aux nouveaux processeurs qui venaient remplacer les anciens, et dont les fréquences d'horloge étaient de plus en plus élevées. C'était une aubaine et une ode à la patience pour les informaticiens qui voyaient leur algorithme aller de plus en plus vite sans faire d'effort. Le même algorithme, pour trouver des nombres premiers, allait deux fois plus vite; l'algorithmicien n'avait besoin de rien changer. En fait, c'est le service financier qui devait mettre la main à la poche pour acheter le nouvel ordinateur muni d'un processeur plus rapide.

Mais cette accélération des performances a dû s'arrêter autour de l'an 2000 à cause de la chaleur dégagée par ces processeurs. En 2000, la chaleur dégagée sur 1 cm par un processeur était celle d'une assiette chaude; le directeur de la recherche de l'un des plus grands constructeurs prédisait qu'à ce rythme, en 2010, les processeurs Intel allaient dégager autant de chaleur que la surface du soleil. Décider d'arrêter l'accélération des performances n'était pas une option pour ces constructeurs : chez ces gens-là, on ne décélère pas Monsieur, on ne décélère pas, on parallélise.

Ils adoptèrent une autre stratégie: en bref, garder des processeurs avec les mêmes fréquences d'horloge, mais en mettre plus au centimètre carré. Pour accélérer les performances d'un algorithme quand une nouvelle machine arrivait, les informaticiens devaient cette fois travailler; il leur fallait distribuer leur algorithme sur les différents processeurs et cela n'est pas trivial; l'ode à la patience s'est transformée en ode à l'algorithme répartie. Et comme on l'a vu, cet algorithmique n'est pas facile et réserve des surprises. Il est important de noter qu'il s'agit ici, en tout cas en apparence, d'une autre forme d'algorithmique distribuée par rapport à celle que nous avons vu il y a quelques instants; le but ici n'est pas de répartir pour tolérer les défaillances ou les bombardements d'ordinateurs, mais de répartir pour aller vite.

Illustrons cela sur un exemple simple, inspiré lui aussi des nombres premiers.

Algorithmique répartie

Je vais aller un peu plus vite ici, juste pour vous donner une idée de la puissance des machines et des algorithmes quand on les met ensemble. Il y a aujourd'hui une discipline du numérique qui s'appelle ***l'algorithmique répartie***. Quand vous faites une addition, l'algorithme n'est pas réparti (on commence, on termine), quand vous faites une multiplication, l'algorithme n'est pas réparti. De plus en plus aujourd'hui, les algorithmes qu'on conçoit mettent en œuvre plusieurs machines et cela crée non seulement de la rapidité et de la fiabilité mais en plus une forme d'intelligence particulière. Je vous donne un petit exemple : supposons qu'on vous mette au défi de jouer contre Karpov et Kasparov et qu'on vous dise, si vous perdez contre les deux, vous serez puni. Vous n'avez pas la possibilité de perdre contre les deux, vous pouvez faire un match nul, perdre contre un mais gagner contre l'autre, mais ne pas perdre contre les deux. Comment est-ce que vous feriez?

Alors je n'ai pas le temps de développer l'argument qui est assez simple : vous séparez les deux en les mettant dans deux salles différentes. Vous demandez à Karpov de commencer. Karpov joue les blancs. Vous allez dans l'autre salle et vous jouez le jeu de Karpov contre Kasparov. Vous attendez que Kasparov joue et vous revenez dans la salle de Karpov pour jouer le jeu de Kasparov (contre vous) contre Karpov. Il est évident que Si Karpov vous bat, cela veut dire que vous avez battu Kasparov. Donc soit vous faites deux matchs nuls, soit vous perdez contre l'un et gagnez contre l'autre.

Cette notion-là, c'est une autre forme d'algorithmique qui est ce qu'on appelle de l'algorithmique répartie. C'est là-dessus que je travaille personnellement et c'est un domaine fascinant où une espèce d'intelligence vient du fait qu'on combine les machines de Turing, on combine les intelligences. Et vous rajoutez cet ingrédient-là aux algorithmes qui apprennent et à la puissance des machines et vous avez un monstre, un tsunami du numérique incroyable que l'on voit aujourd'hui. Et ce n'est pas étonnant qu'aujourd'hui, l'industrie du monde moderne et faite de sociétés du numérique aux États-Unis et en Asie particulièrement.

L'industrie du monde moderne

C'est important de s'arrêter un peu sur cette économie car si vous regardez l'histoire de ces sociétés, qui sont des géants aujourd'hui de l'économie, ce n'est pas des héritiers qui les ont fondés. Bill Gates, Mark Zuckerberg,… sont des ingénieurs qui ont eu des idées géniales, utilisé des machines qui étaient autour d'eux, pour créer des algorithmes qui ont chamboulé le monde.

Donc c'est une économie particulière qui ne part quasiment de rien. Les ordinateurs sont là, ils sont de moins en moins chers; mon téléphone portable est plus puissant que l'ordinateur qui a envoyé les premiers hommes sur la lune en 1970. Il suffit maintenant d'idée, d'algorithme. Et cette économie-là rabat les cartes; il n'y a pas besoin de posséder des puits de pétrole en Arabie Saoudite ou au Texas pour devenir riche. Et si vous regardez les gagnants de la crise, c'est aussi ça, des boîtes venues de nulle part.

Les gagnants de la crise

L'histoire de **Zoom** par exemple est extraordinaire. Un jeune chinois avait vu Bill Gates lors d'un exposé en Chine. Il a décidé d'émigrer à la Silicon Valley pour travailler chez Microsoft. On raconte qu'il a passé 8 fois le test du Visa pour aller aux USA et ne réussit qu'à la neuvième tentative. En arrivant aux USA, il travaille chez CISCO (l'ancêtre de Zoom qui était à San Francisco) et eut l'idée de paralléliser les algorithmes. CISCO n'étant pas intéressé, il créa sa start-up ZOOM, qui maintenant est plus riche qu'IBM.

III. Quelles sont les limites du numérique?

Il se trouve qu'on a des réponses, quelques réponses aux limites de l'IA.

1. La première des choses que l'on sait, c'est que **les algorithmes ne pourront jamais résoudre tous les problèmes** et cela on le sait depuis 1936, année de création de la machine universelle par Alain Turing. Mais avant de créer la machine universelle, il a d'abord démontré, comme par humilité, que les algorithmes ne pourront pas tout faire. Que ce soit sur sa machine ou toute autre machine. Et la démonstration de cela (qui n'est pas compliqué d'ailleurs une vidéo sur YouTube la reprend[3]) est une incarnation de l'intelligence la plus épatante que j'ai vu.

En gros, c'est très simple[4] : ***l'ensemble des problèmes, que nous souhaitons résoudre, est plus grand que l'ensemble des algorithmes, qui nous permettraient de les résoudre***. Alors là, on se dit: «mais l'ensemble des algorithmes est infini» (puisque un algorithme, c'est de procédures, c'est par un alphabet…). L'ensemble des problèmes aussi est infini. Mais les infinis ne sont pas tous égaux. C'est comme l'ensemble N et l'ensemble R. L'ensemble N est dénombrable, il est plus petit que l'ensemble R, infiniment plus petit. On a donc des infinis qui ne sont pas les mêmes. L'ensemble des algorithmes est infini mais infiniment plus petit que l'ensemble des problèmes.

On sait donc depuis 1936 que les algorithmes ne pourront pas tout faire; par contre, ils pourront résoudre une infinité de problèmes et on sait qu'il y a des problèmes très importants et très intéressants qu'ils ne pourront pas résoudre. On en connait de plus en plus.

2. La deuxième chose qui est très importante, qui fait que le numérique a des limites ; c'est ce que je vous ai dit tout à l'heure : *ce qui fait la force des algorithmes d'aujourd'hui, c'est «qu'ils essaient, ils se trompent et ils apprennent»*. La plupart des algorithmes d'aujourd'hui qui nous épatent se sont beaucoup trompés ou continuent de se tromper. Et dans le dernier article d'Alain

3- Il s'agit d'une démonstration juste fascinante d'un allemand qui s'appelle Georg Cantor (Cantor, l'homme qui défia l'infini).

4- Il y a cette théorie qui dit que si vous répétez aux gens que quelque chose est simple, il y a comme une sorte de pression et ils comprennent; on se dit si c'est simple, je devrais comprendre, on se concentre plus etc.

Turing avant qu'il meure, il explique que, si l'on veut qu'un algorithme soit vraiment intelligent, il faut lui permettre de se tromper. Ca veut dire que l'Intelligence est intimement liée à la capacité de se tromper. Cela ne nous étonne pas mais quand notre avion, ou les appareils qui sont en train d'ouvrir nos cœurs sont régis par des algorithmes dont on sait que l'intelligence est liée à leur capacité de se tromper, cela nous fait peur[5]. Cette notion d'erreur dans les algorithmes est intrinsèquement liée à l'intelligence d'où le choix du titre de l'article de Turing (***La théorie hérétique d'Alain Turing***), parce qu'il prédisait déjà en 1952 que les machines allaient nous dépasser une fois qu'on leur aurait permis de se tromper. Là aussi pour l'église, en 1952, c'était considéré comme hérétique.

Je vais maintenant, sans rentrer dans les détails, examiner certains aspects pour vous donner juste des pistes dans lesquelles les chercheurs regardent aujourd'hui, dans mon équipe, dans d'autres équipes.

En 2010 par exemple, 800 milliards de dollars disparaissent de la Bourse de Wall Street.

Le marché se retrouve en fait dans une situation inédite : les ordres automatiques de vente se multiplient alors même qu'il n'y a plus d'acheteurs. Ce qui explique l'effondrement des cours. En l'espace de quelques minutes, 862 milliards de dollars disparaissent. L'indice de référence de la Bourse de Wall Street, le Dow Jones, perd 10% d'un coup. Peu avant 15 heures, les cours se ressaisissent. Mais seulement en partie : Wall Street finira la journée en chute de 3,2%.

Algorithmes Naturels

Aujourd'hui, pour essayer d'éviter ou de réduire la probabilité d'erreur des algorithmes, on ne s'inspire pas forcément des humains mais plutôt de la nature.

Un exemple : si vous regardez des lucioles à la tombée de la nuit, au début elles scintillent dans tous les sens puis très vite, elles commencent à scintiller exactement en même temps. On se dit : comment est-ce qu'elles y arrivent? On sait aujourd'hui que les ordinateurs, on ne peut jamais les mettre d'accord sur une valeur (il y a un théorème important d'impossibilité du consensus)[6]; et pourtant les lucioles arrivent à se mettre d'accord mais on ne sait pas comment elles communiquent.

Donc on s'est inspiré non pas de l'homme mais de la nature pour quelque part faire des algorithmes plus fiables, plus puissants, …

5- Mais, lorsque l'on met les ordinateurs en réseau, que ce soit des réseaux grands par la taille pour chercher la robustesse, ou petits pour chercher la rapidité, on sort de ce modèle universel.
La nouvelle créature, composée d'un ensemble de machines de Turing, est certes plus rapide et plus robuste qu'une seule machine, mais elle n'obeit pas toujours au modèle original de cette machine et nous ne nous rendons pas toujours compte immédiatement que cette nouvelle créature devient en quelques sorte incontrollable.
"Nous sommes tous myopes quand il s'agit de notre propre discipline" aurait dit le Dr Frankenstein.
Pour quelle raison la machine obtenue par assemblage de machines sort elle du modèle de base et n'est plus universelle?

6- Impossibilité du consensus
Théorème (FLP85): aucun algorithme ne peut résoudre le consensus dans un réseau asynchrone avec envoi de message.

Je pourrais donner d'autres exemples comme les poissons qui décident parfois d'avoir une forme dont l'aspect est encore un poisson, plus gros que leur prédateur. Si ça ne marche pas, ils se faufilent dans un trou par lequel le prédateur ne peut pas passer. On se dit, mais comment diable ils y arrivent? Et on essaie de s'inspirer de cela pour faire une nouvelle génération de machines et d'algorithmes.

Donc ça c'était juste des pistes.

Donc on s'est inspiré non pas de l'homme mais de la nature pour quelque part faire des algorithmes plus fiables, plus puissants, …

Je pourrais donner d'autres exemples comme les poissons qui décident parfois d'avoir une forme dont l'aspect est encore un poisson, plus gros que leur prédateur. Si ça ne marche pas, ils se faufilent dans un trou par lequel le prédateur ne peut pas passer. On se dit, mais comment diable ils y arrivent? Et on essaie de s'inspirer de cela pour faire une nouvelle génération de machines et d'algorithmes.

Donc ça c'était juste des pistes.

J'en arrive à mes conclusions :

- L'intelligence artificielle, c'est une prouesse d'un domaine qui est la combinaison d'une science (sciences des mathématiques, les algorithmes) et d'une technologie. L'IA, c'est un mot qui quelque part, représente un effet de surprise; j'aimerais beaucoup que vous partiez avec cette idée-là. Ce qui est fondamental, c'est le numérique.
- La deuxième idée, c'est que le numérique, c'est justement la combinaison de ces deux choses et c'est crucial de le savoir. Je dis ça parce que, par exemple, il y a des formations qui se créent à droite et à gauche en disant «on va faire des experts d'IA». Et pour que quelqu'un soit expert en IA, il faut être expert dans les algorithmes et dans les machines. On ne peut pas faire l'un sans l'autre. On ne peut pas prendre juste un diplôme de statistiques et dire : vous êtes data scientists et vous allez faire de l'IA. Non. J'ai essayé de vous expliquer

---

Lorsque l'on déploie un algorithme sur un ensemble de machines de Turing, elles n'arrivent pas toujours à se mettre d'accord sur l'ordre d'exécution des instructions de l'algorithme à cause du réseau, agissant parfois comme un semeur de Zizanie, même sans le faire exprès, en accélérant certaines communications et en ralentissant d'autres; l'accord devient impossible; l'algorithme ainsi déployé ne correspond plus à celui escompté; on perd le modèle de la machine universelle de Turing et toutes les techniques de preuves, d'études de complexité et de tests développés pendant ce dernier demi-siècle; cela est grave car toute notre informatique aujourd'hui est répartie et le modèle dont on dispose a été développé dans le cas centralisé :

Le résultat a été généralisé plus tard de deux manières – d'abord en 1987

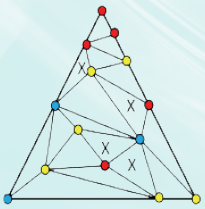
Alors que la verstion intiale du théorème suppose un réseau asynchrone dans lequel les machines ne communiquent que par envois de messages, ce résultat a été étendu en 1987 au cas où les machines communiquent par mémoire partagée: l'asynchronisme ici vient de l'absence de borne supérieure sur la vitesse relative des processus.

C'est la même technique de preuve qui a été utilisée en 2000.

Et s'ils sont n, non seulement ils ne peuvent se mettre d'accord sur une valeur mais ils ne peuvent pas se mettre d'accord sur n-1 valeur; en éliminer une.

Le lemme de Sperner en Topologie Algébrique

En fait, il existe une preuve plus générale en 1999 Godel Prize basée sur le Lemma de Sperner. En deux dimensions: toute subdivision du triangle en plus petits triangles possède un triangle qui a trois couleurs. Cela veut dire que 3 processus ne oeuvent même pas décider deux valeurs.



En mathématiques, le lemme de Sperner, dû à Emanuel Sperner1, est un analogue combinatoire du théorème du point fixe de Brouwer. Le lemme de Sperner affirme que chaque coloriage de Sperner d'une triangulation d'un simplexe de dimension n contient une cellule colorée de toutes les n + 1 couleurs. Le premier résultat de ce type fut démontré par Emanuel Sperner en 1928, en relation avec des preuves du théorème de l'invariance du domaine. Les coloriages de Sperner ont été utilisés pour des déterminations effectives de points fixes, dans des algorithmes de résolution d'équations, et sont employés dans des procédures de partage équitable.

que la machine est cruciale, tout comme l'algorithme ou la mathématique. C'est la combinaison des deux qui est importante.

- La troisième chose que je voulais vous dire, c'est qu'aujourd'hui alors qu'on dit que l'erreur est humaine, en fait, l'erreur est aussi numérique. Les ordinateurs des temps modernes veulent ressembler aux hommes donc ils font des erreurs. Cela veut dire que quand on conçoit aujourd'hui des algorithmes qui vont nous aider dans la médecine ou dans d'autres aspects, on doit toujours s'attendre à ce qu'ils fassent une erreur. Dans les cours de Génie Logiciel, dans les cours de Master en Informatique, on essaie d'apprendre cela aux étudiants. Cela conditionne notre manière d'écrire et de sécuriser les programmes et de prendre des assurances sur les programmes.

Le numérique dans le NMD

Alors, pour conclure, j'aimerais juste dire un mot sur le «Nouveau Modèle de Développement», parce que j'étais impliqué là-dedans et on en parle parfois. Les gens posent cette question : «***est-ce que ce NMD est un algorithme?***». Est-ce que c'est une suite d'instructions qu'il suffit d'exécuter à la lettre pour qu'en 2035, on atteigne des objectifs. Alors la réponse est NON. Le NMD n'est pas un algorithme.

Les informaticiens, ou ceux qui ont fait du numérique appeleraient cela un **méta-algorithme**, c'est-à-dire une doctrine qui donne certaines directions, mais qui n'est pas un algorithme. Donc ce n'est pas un programme politique.

Dans ce NMD marocain comme dans d'autres NMD à Singapour ou en Corée, ... le numérique tient une place importante, cruciale. On estime que c'est le levier de développement de pays au 21è siècle, d'autant plus, comme on a vu, que les cartes sont rebattues et on part presque tous à égalité.

Encore une fois, (j'utilise des mots qui peuvent sembler un peu langue de bois) pour libérer des énergies et pour permettre à tout le monde d'utiliser ce numérique, d'en faire une force, les 3 premières conditions nécessaries sont:

- La couverture, c'est-à-dire permettre à tout le monde d'accéder au numérique, d'y accéder dans de bonnes conditions,
- D'offrir des services qui permettent à tout le monde d'utiliser ce numérique,
- et troisièmement, de former, évidemment de grands chercheurs au numérique, mais aussi n'importe qui à utiliser ce numérique. Aujourd'hui, la nouvelle forme d'analphabétisme, ce n'est pas savoir utiliser un ordinateur.

Dans ce NMD, l'idée n'a pas été de dire "il faut investir dans l'informatique quantique" ou "il faut investir dans telle IA" (et les cabinets de consultants sont suffisamment bons pour écrire ce genre de choses). Dans des domaines comme cela, on ne sait pas de quoi sera fait le futur. Donc les rapports ceci ou cela, c'est pas sérieux. Quand on parle à des scientifiques, on vous dit on n'en sait rien. Ce qui est important, c'est de former les gens pour qu'ils puissent s'adapter, faire de nouveaux algorithmes,.... On ne peut privilégier aucun domaine par rapport à d'autres.

Je vous remercie de votre attention.

Focus

Le débat public et le modèle de développement

Rédouane TAOUIL

Université Grenoble Alpes
Membre correspondant, Académie Hassan II des Sciences et Techniques

«Changer de modèle de développement». Rarement une question d'une telle taille aura donné lieu à des interventions aussi diverses que nombreuses dans les médias. Ces prises de parole publiques ont un double mérite : d'une part, elles ont impulsé le débat sur la problématique de développement mettant ainsi en relief les enjeux démocratiques de la discussion des performances de l'économie et de l'orientation des actions publiques. D'autre part, elles ont levé le voile sur l'atonie de la croissance, le rationnement de l'accès à l'emploi comme sur les carences dans les domaines de l'éducation et de la santé. Des politiques, des représentants d'instances publiques des *think thank* et des experts peu prolixes sur ces sujets n'ont pas hésité à évoquer le déficit d'activité et ses retombées sociales et à préconiser des mesures sous l'égide du «nouveau modèle du développement».

Le débat public a offert, trois années durant, d'intéressantes occasions pour s'interroger sur les performances de croissance et de bien-être social et les recommandations à suivre dans ce sens[1]. Cependant, à y regarder de près, il est traversé par deux biais majeurs. L'un tient à la prégnance des vues doxiques[2] qui qualifient indûment la demande intérieure de levier essentiel de la croissance et réitère sous forme de poncifs des mesures de stimulation de l'offre globale sans s'assurer de leur cohérence. L'autre biais résulte de la préférence marquée pour la préconisation de mesures au détriment du préalable obligé du diagnostic, laissant ainsi dans l'ombre les causes de l'affaiblissement de la croissance et les limites des stratégies de l'offre. De telles lacunes dérivent de la minoration de l'importance des savoirs théoriques à solliciter pour éclairer les enjeux de la finalité du développement.

A- La croissance est-elle tirée par la demande domestique ?

«Qu'elles soient juste ou erronées, les idées des théoriciens de l'économie et de la politique exercent une puissante supérieure à celle qu'on leur prête communément. En fait ce sont elles qui mènent le monde» (Keynes, 1936, p.383). En écho à cette sentence, éclatante de pertinence, Rodrik appelle à rendre explicite l'influence des théories sur les représentations et résultats des comportements et décisions publiques en soutenant que «prendre les idées au sérieux, nous aide à résoudre nombre d'énigmes de la vie sociale et politique» (2018, p. 160). Le débat sur le modèle du développement ne semble guère satisfaire à une telle exigence. On assiste, en effet, moins à l'exposé raisonné d'idées qu'à la répétition de poncifs sur les supposés bienfaits de la compétitivité, des politiques d'offre, de la concurrence comme du renforcement de la flexibilité des marchés. Faute d'interrogations critiques, de larges zones d'ombre subsistent quant aux traits caractéristiques du comportement de l'économie nationale. L'appel privilégie à cet égard à la *doxa* se traduit par des contresens comme ceux de la thèse selon laquelle ce modèle est tiré par la demande, et son corollaire normatif, l'adoption de stratégies de promotion des exportations. Cette thèse, très largement partagée, est tenue pour une clé explicative des performances de l'économie nationale et un argument de taille en faveur des politiques de l'offre. A force d'être répétée, elle passe pour

1- Ainsi que le souligne Jean-Michel Besnier (2012), le débat public est censé poursuivre un idéal qui va de la formulation de réponses à une problématique au consensus sur les meilleures réponses ou solutions en passant par la confrontation et l'enrichissement mutuel des points de vue et jugements. Sous de telles conditions, les discussions peuvent prétendre être constructives. Comme le débat engage des interventions issues de perspectives spécifiques, il s'expose au risque de biais comme les tendances de présenter sous forme de préconisations des revendications catégorielles, ou d'afficher des compétences hors de son domaine tel le cordonnier d'Apelle (Klein 2020). Ces biais, comme ceux que produit le recours à *la doxa* ne sont pas sans peser sur les vertus constructives du débat public.

2- Ces vues représentent les jugements, les préceptes les positions sur l'économie qui sont partagés comme lieux communs ou évidences. En tant qu' «outil de visibilité stratégique» comme le qualifie B. François et E. Deneveu, le monde médiatique constitue un vecteur majeur de leur constitution et leur diffusion dans l'espace public.

une évidence placée au-dessus de tout soupçon. Or, l'interprétation de l'équation, qui en est la pierre angulaire, renferme des contresens qui compromettent sa prétention à la pertinence.

Cette équation, qui exprime l'égalité entre l'offre et les composantes de la demande globale, s'écrit :

$$Y = C + I + X - M$$

Y est le produit intérieur brut, C la consommation finale, I l'investissement, X les exportations et M les importations.

La transformation de cette relation permet d'obtenir :

$$\frac{\Delta Y}{Y} = \frac{C}{Y}\frac{\Delta C}{C} + \frac{I}{Y}\frac{\Delta I}{I} + \frac{(X-M)}{Y}\frac{\Delta(X-M)}{(X-M)}$$

L'évaluation de la croissance consiste à déterminer comment le comportement de l'activité économique dépend de l'évolution de chacun des agrégats constitutifs de la demande : la contribution de chaque composante est donnée par le produit de son rythme de progression et son poids respectif dans le PIB. A ce titre, elle implique que la production est nécessairement influencée par l'importance de la demande et de son mouvement.

Une telle démarche enveloppe de multiples conséquences. D'abord, l'optique de dépense dans laquelle se situe l'équation impose de relier la croissance *exclusivement* aux deux fractions de la demande globale : la demande intérieure et la demande étrangère. Ainsi, à la croissance de l'économie marocaine, qui s'est établi en 2019 à 3,2%, la contribution de la consommation finale a été de 2,5%, celle de l'investissement de 1,9% tandis que celle des échanges extérieurs a été négative, soit -1,2% Ensuite, considérer que l'importance prépondérante de la demande intérieure est due à la politique économique et prôner, en conséquence, une réorientation en faveur de stratégies exportatrices, c'est franchir un pas que n'autorise pas l'équation comptable. D'une part, si la contribution de la demande intérieure est la plus importante, c'est parce que les dépenses de consommation et d'investissement sont d'un poids considérable dans l'activité. D'autre part, en déduire qu'elle est le moteur de la croissance et que la politique économique favorise la demande, c'est franchir un pas que n'autorise point l'évaluation purement comptable afférente. Affirmer que le modèle de croissance est tiré par la demande revient en fait à supposer que la politique économique mise en œuvre accorde la priorité à la stimulation de la demande par le biais des dépenses publiques et le soutien à la consommation au moyen de hausse des revenus des ménages ou de baisse d'impôts. Ce n'est, à l'évidence, pas le cas. La politique budgétaire n'obéit pas, en effet, à cette orientation. Contrainte par le seuil de déficit public de 3%, elle est soumise à des règles qui imposent la maîtrise des finances publiques comme l'attestent les ajustements restrictifs opérés durant le quinquennat 2012-2016. La hausse des charges des produits subventionnés a conduit les autorités budgétaires à ouvrir une fenêtre d'opportunité en lançant la décompensation des hydrocarbures et en procédant à des coupes claires dans les dépenses d'investissement. Après avoir atteint 7,3% en 2012, le déficit est réduit à 3,8% en 2016. Ces dispositions, qui participent d'un ralentissement de la demande, sont justifiées par un argument issu du référentiel de l'offre, selon lequel la demande d'investissement public évince, de par la hausse du taux d'intérêt qu'elle induit, la demande privée. De son côté, la politique monétaire est guidée par l'impératif de crédibilité. Elle a pour objectif primordial d'assurer la stabilité des prix et de créer des conditions favorables à une affectation efficiente des ressources par les agents et par conséquent, à un niveau optimal de l'offre globale. En réponse à la décélération du crédit bancaire et à ses effets sur l'investissement, la production et l'emploi, la Banque centrale a révisé, à deux reprises, le taux d'intérêt. Ce desserrement n'a pas entraîné une montée du crédit et de la quantité de monnaie en circulation. Loin d'atténuer la réticence des banques à l'octroi du crédit, il en a durci les conditions. L'anticipation de l'insuffisance des débouchés a accentué les frictions financières en renforçant l'asymétrie d'information entre prêteurs et emprunteurs et la perception des risques de vulnérabilité et d'insolvabilité. La politique monétaire a pâti, dans ce contexte, d'un déficit de demande globale. Dès lors, la combinaison des instruments monétaire et budgétaire ne s'apparente pas à une politique active de gestion de la demande. Les plans sectoriels relèvent également de la logique de l'offre comme en témoignent leurs dispositifs d'incitation. De son côté, la décompensation des produits pétroliers vise à accroître le degré de concurrence sur le marché des produits et introduire plus de flexibilité sans interférer avec les conditions de la demande.

L'interprétation de l'équation de la demande globale renferme un autre contresens. Plaider pour une stratégie fondée sur la demande extérieure,

est sujet à caution. Une telle position suppose que les exportations nettes, l'investissement, la consommation et les dépenses sont des variables *indépendantes*. Or, agir sur l'une produit nécessairement des effets sur les autres. D'abord, la promotion privilégiée de la demande extérieure est de nature à entretenir les facteurs de la croissance molle. L'option en faveur de la compétivité-coût par la modération des salaires risque fort de peser sur la consommation des ménages d'autant qu'elle conduit à accroitre la précarité salariale. Ensuite, la spécialisation corrélative dans des activités à faible valeur ajoutée est susceptible d'augmenter la masse des travailleurs peu qualifiés, de décourager l'investissement privé dans le capital physique à travers de faibles incitations à l'innovation autant que l'investissement public dans la formation et l'infrastructure. Enfin, la réduction des importations notamment des biens d'équipement et des demi-produits est susceptible de ralentir la demande d'investissement. La priorité à la demande externe et les dispositifs de soutien à l'offre correspondants ne seraient pas en mesure de soutenir la croissance et l'emploi et d'en améliorer la qualité.

Les politiques d'offre, mises en exergue comme remède à l'insuffisance de la croissance, sont bel et bien mises en œuvre. Leurs performances contrastent avec les vertus qui leur sont prêtées. La trajectoire de l'économie marocaine durant 2012-2019 se caractérise par un fléchissement de la croissance, une décélération de la demande intérieure, une baisse continue du taux d'emploi et la persistance d'un chômage à forte proportion de jeunes. Après une croissance moyenne annuelle de 4,7% entre 2000-2011, le produit intérieur brut enregistre une progression de 3,2%, soit 2,3 points en moins que celle ciblée par le décideur public. A son tour, le rythme de croissance de la valeur ajoutée des secteurs non agricoles se situe à 2,8% marquant ainsi une baisse de 1,9% comparativement à la période 2000-2011. Cette performance atteste qu'il y a loin entre l'inflexion dans la trajectoire de croissance de ces secteurs envisagée par les plans d'actions du gouvernement et la réalité. La demande domestique connait un net ralentissement suite à la décélération qu'ont connue la consommation publique et l'investissement en 2013. Le taux d'emploi, qui désigne la part de la population active occupée dans la population en âge d'activité, accuse une régression en passant de 44,1% en 2012 à 41,7% en 2019. Dans ce contexte, le taux de chômage national est passé durant le quinquennat de 9% à 10% et celui des jeunes de 33,5% à 38%.

B- Des prescriptions sans diagnostic

«Le diagnostic sur la qualité de la croissance étant établi, il est temps de formuler des recommandations et de concevoir des mesures de politique publique». Ce propos, qui a tenu lieu d'un *leitmotiv*, se prête à contestation à un double titre : outre qu'il y a loin entre la réalité des observations parcellaires sur le modèle de croissance et l'élaboration argumentée d'un tel diagnostic, celle-ci est un préalable obligé à la réflexion sur les voies à emprunter. Certes, le débat a été l'occasion d'exposés de données et d'assertions sur l'insuffisance de la progression du PIB, la vulnérabilité de la croissance, le caractère persistant du chômage, le sous-emploi des jeunes, la faiblesse de la productivité globale, le déficit de «capital humain» et des services éducatifs et de santé. Il est remarquable cependant qu'il s'agit beaucoup plus d'observations locales que d'analyses des liens entre, d'une part, le contenu des politiques conjoncturelles, des réformes structurelles et des plans sectoriels et, d'autre part, le comportement et les performances de l'économie nationale. L'identification de ce contenu sur le plan institutionnel et opérationnel et l'évaluation globale de la cohérence du régime de politique économique selon ses propres critères d'efficacité sont nécessaires pour déterminer les facteurs d'inefficience et les effets contre-productifs, les dispositifs défectueux et les instruments inappropriés.

L'économie du développement a accumulé à travers des diagnostics de stratégie de croissance et des bilans de politiques publiques des enseignements dont le débat public peut bien tirer parti (Bourguignon 2012; Haussman 2008; Rodrik 2008; Chang 2012) La comparaison avec des expériences dans les pays du Sud serait indubitablement d'éclairer les limites des politiques de stabilité macroéconomique selon des règles fixes et les réformes des marchés destinées à intensifier la concurrence et la flexibilité qui restent envisagées pour la panacée. La définition rigoureuse d'une politique pour la relance de la croissance et de l'emploi et la réduction du déficit social requiert un tel angle de vue. En appeler à la formulation de recommandations en faisant bon marché du diagnostic revient immanquablement à exonérer ces propositions des preuves de justification. En sous-estimant l'importance des enjeux analytiques, cette démarche conduit à une juxtaposition des recommandations, parfois aux «allures d'ordonnances» (Klein 2020,) privées de fondements communs. Keynes aimait à répéter

qu'il est fort malaisé de s'affranchir des idées anciennes tant elles s'immiscent dans tous les recoins de l'esprit. A voir l'imprégnation des interventions par des idées dominantes converties en *doxa* à l'abri du doute[3], on ne saurait manquer de songer à cette assertion de cette figure centrale de la science économique au XXe siècle. Elles procèdent, en effet, à la répétition des bienfaits prêtés à l'impact de la concurrence sur l'efficacité, à l'amélioration de la gouvernance d'État et à la baisse de la pression fiscale et au contrôle des dépenses publiques, à la réduction du niveau de la réglementation et à l'extension des incitations au secteur privé, au soutien à la compétitivité et à la flexibilité des marchés. La préconisation de ces principes soulève une triple objection. D'abord, ils n'ont pas le caractère novateur qui leur est conféré. Comme nous l'avons souligné, c'est au référentiel de l'offre que s'adossent la régulation conjoncturelle et les réformes de structures destinées à libérer les marchés des produits, du travail et du crédit des entraves réglementaires. Ensuite, la pertinence des recommandations est tributaire de l'élaboration argumentée d'un diagnostic de l'économie nationale. Formuler des mesures en faisant bon marché de cet impératif de diagnostic revient à exonérer ces mesures de preuves et de fondements assurés. Sans ce préalable, les recommandations se ramènent à un inventaire qui juxtapose des propositions vouées à être incohérentes. En attestent les conflits d'objectifs entre mesures concernant l'innovation et la compétivité-coût, la stricte discipline budgétaire et la réduction des fluctuations, l'assouplissement de la réglementation du marché du travail et la protection sociale, l'allégement de la pression fiscale et l'investissement dans «le capital humain» et la santé.

Ces incohérences, consécutives à l'absence d'une grille d'analyse permettant d'établir des arbitrages et des hiérarchies, témoignent de la méconnaissance des réexamens dont font l'objet les politiques économiques au sein du FMI et de La Banque mondiale qui jouent un rôle de premier plan dans la promotion de l'économie du développement. Des études récentes du FMI procèdent à une reconsidération des politiques structurelles et des consolidations budgétaires en suggérant la révision des modalités de conduite de ces actions. En premier lieu, les déréglementations du marché du travail dans un contexte d'atonie de la croissance sont de nature à entraîner des effets négatifs sur l'activité et l'emploi. L'assouplissement de règles protectrices des salariés engendre une hausse du chômage du fait de la désincitation à l'emploi qu'induit la conjoncture. De son côté, la libéralisation du marché des produits est susceptible de conduire, dans le cas où elle s'accompagne d'une baisse des prix, à une déflation qui vient accroître le taux d'intérêt et donc renchérir le crédit et peser sur l'activité. Ensuite, la gestion du budget public en application mécanique de seuil de la dette est en mesure d'exercer des effets néfastes à la fois sur la demande globale et le potentiel de croissance. Le coût d'allégement de l'endettement peut se manifester dans un recul de la production. Enfin, l'investissement dans le « capital humain », objet d'incantations, ne saurait être tenu pour un vecteur puissant de la croissance. La célèbre objection de l'ex-économiste de la Banque mondiale, Pritchett, «*Where has all the education gone ?* « est, au regard des évolutions récentes, encore plus pertinente. Elle est confortée par des études qui soutiennent que l'éducation ne produit pas un impact positif sur le développement. Ainsi que le fait remarquer Chang (2012), le taux d'alphabétisation en Corée du Sud, cas érigé en exemple, était de 71% en 1960 tandis qu'il s'élevait en Argentine à 91%. Le revenu par tête qui était dans l'une égal au cinquième de celui de l'autre, représente le triple en 2014. Le fait que le lien entre capital humain et croissance n'a pas à son actif de preuves empiriques appelle à tenir compte dans l'analyse de l'éducation des déterminants de l'investissement privé, des structures de l'emploi et des qualifications des salariés. L'exemple d'économies caractérisées par un taux de chômage élevé des diplômés et une part prépondérante de l'emploi non qualifié illustre bien la possibilité d'une apathie de la croissance dans un contexte d'excédent d'offre de travail à forte qualification.

Or, réfléchir sur les voies possibles requiert une vision globale centrée sur l'impulsion d'une dynamique vertueuse en termes d'emploi et de bien-être. En dépit de son usage fréquent, le terme de développement ne fait pas l'objet d'une formulation digne de la place clé qui lui revient. Soit, il est assimilé purement et simplement à la croissance ainsi que l'atteste le recours à «modèle de croissance» et à «modèle de développement» comme des vocables équivalents, soit il est

3- En tant que réduction sous forme de poncifs du référentiel théorique des politiques publiques dominant, la doxa mobilise des valeurs conçues en termes d'opposition entre le bien et le mal comme la flexibilité versus rigidité et des normes qui incarnent des principes d'action tels «le déficit public et l'inflation doivent être maîtrisés» ou «il faut déréglementer les marchés».

tenu pour une évidence qui n'appelle pas une construction de sens. Or, l'enjeu de la réflexion sur une nouvelle voie requiert la redéfinition du développement comme cadre global des politiques publiques. Celles-ci génèrent en effet des avantages et des coûts et agissent par-là sur les ressources et les droits des gens. En ce sens, le développement peut être appréhendé, comme le propose Amartya Sen à travers l'exercice des libertés[4]. Le rationnement persistant de l'accès à l'emploi et la montée des inégalités, vices marquants du comportement de l'économie marocaine entraînent, à travers la disqualification sociale, une restriction des opportunités à bâtir des choix de vie et partant des capacités. Pour autant, la conception d'une autre voie devrait se faire à de nouveaux frais en prenant en compte la nécessité de l'élargissement de ces capacités. Le privilège exorbitant conféré aux politiques de l'offre ignore cette dimension essentielle du développement. A témoin le plaidoyer en faveur de la flexibilité du marché du travail. Mise en avant comme une solution de l'équation de la compétitivité et de l'emploi, la flexibilité accrue du marché du travail ne possède pas les vertus qui lui sont conférées (Atkinson 2016). La limitation des contrats à durée indéterminée, le développement prioritaire des contrats temporaires comme la réduction de la protection de l'emploi n'apparaissent pas en mesure de stimuler l'activité et l'emploi ou développer des incitations à innover. La flexibilité de fait, qui est le lot d'une large fraction des salariés comme le montrent les enquêtes du HCP, conduit à une trappe de bas salaires dont le corollaire est un faible niveau de productivité. Les facilités de licenciement conduisent les entreprises à ne pas investir dans les compétences spécifiques de leurs salariés et à préférer le *turnover* à l'amélioration de la productivité. Ainsi, se trouvent découragés l'apprentissage par la pratique et la mise en place d'innovations. Cette trappe à bas salaires constitue un frein à l'exercice des libertés substantielles. L'étendue de ces libertés est restreinte suite au renforcement des pauvretés d'accessibilité et de potentialités. La pauvreté d'accessibilité, qui résulte du faible accès aux services d'éducation et de santé, est significative des contraintes qui pèsent sur les choix des personnes. Le rationnement de l'accès à ces services de base est une privation des libertés qui conditionnent les pouvoirs d'être et d'agir. Cette pauvreté se conjugue avec le manque de potentialités, qui découle de l'absence de dotations en capital physique ou financier et du défaut d'insertion sociale. Les inégalités d'accès à la santé, à l'éducation et à un certain niveau de bien-être matériel traduisent une insuffisance des droits à des choix de vie qui nuit d'autant aux potentialités que la qualité de l'offre scolaire et des services de santé va en se dégradant. Les individus qui ne peuvent, faute de ressources, investir dans l'élargissement de leurs capacités, expriment une faible demande en matière d'éducation, ce qui réduit leurs possibilités d'insertion et accentue la trappe de la sous-éducation. Les personnes qualifiées, qui n'ont pas accès à l'emploi, voient leurs compétences s'éroder. Dans ce contexte, le déficit social affecte les opportunités et la cohésion sociale.

Au total, «Changer d'idées» comme l'affirme Gilbert Harman (2017), passe nécessairement par la révision des conceptions et des croyances fussent-elles profondément ancrées sous les auspices de considérations théoriques. Il est indubitable que la crise a entamé le consensus notamment autour de principes de la politique monétaire en imposant des actions d'urgence destinées à atténuer les effets sur les liquidités l'activité, les revenus, l'emploi. Ainsi sont prônés des relances monétaires par une réduction conséquente du taux d'intérêt directeur, le relèvement de l'objectif d'inflation, l'adoption d'un mandat dual conjuguant le double objectif

4- L'approche par les capacités, dont Sen offre une synthèse profonde dans *L'idée de justice* (2010), met l'accent sur l'évaluation du bien-être à partir des performances des hommes et renouvelle par-là la conception du développement en la centrant sur les libertés et l'égalité. Au rebours de l'analyse du bien-être en termes de biens, elle privilégie les performances que les personnes réalisent à l'occasion de l'utilisation de ces biens et considère ainsi que l'évaluation de la position d'une personne dans la société requiert la combinaison de deux critères : la liberté formelle d'accomplir et l'accomplissement réel. L'un recouvre la satisfaction du bien-être individuel qu'autorisent le revenu et la qualité de vie, l'autre renvoie à la liberté d'accès de l'individu aux divers accomplissements auxquels il peut aspirer. Au cœur de ce mode d'évaluation figurent donc les capacités comme ensemble des conditions d'existence et d'action dont disposent les individus en termes de choix et d'opportunités. Ces capacités incluent des réalisations fondamentales telles que se nourrir, avoir une bonne santé, pouvoir être éduqué mais aussi avoir de l'estime de soi, participer à la vie de la communauté. Le développement ne se mesure pas tant à l'égalité des libertés formelles qu'à l'étendue des libertés réelles. La conception des politiques publiques et leur impact s'évaluent à l'aune de cette norme du développement et de la démocratie comme «raisonnement public».

de stabilité des prix et d'activité voire le retour à la tutelle du gouvernement sur la politique monétaire[5]. Le plaidoyer en faveur de ces relances se limitent cependant à l'énumération de mesures et d'objectifs sans spécifier les mécanismes vertueux afférents. En l'espèce, il n'aborde ni les enchaînements entre l'offre de monnaie, l'inflation et la croissance à long terme, ni les questions de canaux de transmission et d'interactions entre les impulsions monétaires et les décisions budgétaires. Preuve supplémentaire que le débat public ne peut se dispenser du savoir théorique. Seul ce dernier rend possible le repérage des inefficiences auxquelles sont confrontées les politiques publiques et la définition d'un ensemble cohérent compte tenu des objectifs visés et des instruments mis en œuvre pour y parvenir.

Références bibliographiques

Atkinson A. [2016], *Inégalités*, Le Seuil, Paris.

Bank Al Maghrib, *Rapports annuels*, Rabat.

Banque Mondiale [2017], *Le Maroc à l'horizon 2040 : investir dans le capital immatériel pour accélérer l'émergence économique*, Mémorandum économique, Washington.

Banque mondiale [2006], *Promouvoir la croissance par l'emploi et la diversification productive et la compétitivité*, Mémorandum économique pays, Maroc, Washington.

Besnier J-M. [2011], «Le débat public : une affaire de sens commun», in *La science et le débat public*, Alberganti M. et *al.*, Paris, Actes-Sud-IHEST.

Bourguignon F. [2012], *La mondialisation de l'inégalité*, Paris, Seuil.

Chang H-J. [2014], *Deux ou trois choses que l'on ne vous dit jamais sur le capitalisme*, Paris, Le Seuil.

Fonds Monétaire International [2016], *World Economic Outlook*, Washington.

Fonds Monétaire International [2015], *World Economic Outlook*, Washington.

François B. et Deneveu E. [2015], «Pour une sociologie politique des espaces publics contemporains», *Espaces publics mosaïques, acteurs, arènes et rhétoriques des débats publics contemporains*, Deneveu E. et B. François (dir), Rennes, Presses universitaires de Rennes.

Haussman R. [2008], «Los dilemas de América Latina en el proceso de globalización», *Hacia la revisión de los paradigmas del desarrollo* en *América Latina,* O. Altimar, E. V. Iglesias, et J.L. Mahcinera (dir.), CEPAL.

Haut-Commissariat au Plan [2017], *Enquête nationale sur l'emploi : dimensions de la réforme et principaux résultats*, Rabat.

Haut-Commissariat au Plan et Banque Mondiale [2017a], *Le marché du travail au Maroc, défis et opportunités*, Rabat.

Haut-Commissariat au Plan et Banque Mondiale (2017b], *Pauvreté et prospérité partagée au Maroc du troisième millénaire,* 2001- 2014.

Herman G. [2017], *Changer d'idées les principes du raisonnement*, Paris, Editions d'Ithaque.

Keynes J. M. [1936], *The General Theory of Employment, Interest and Money*, London, Palgrave MacMillan.

Klein E. [2020], *Le goût du vrai*, Paris, Tract, Gallimard.

Rodrik D. [2018], *La mondialisation sur la sellette, plaidoyer pour une économie saine*, Bruxelles, De Boek.

Rodrik D. [2008], *Nations et mondialisation, les stratégies nationales de développement dans un monde globalisé*, Paris, La Découverte.

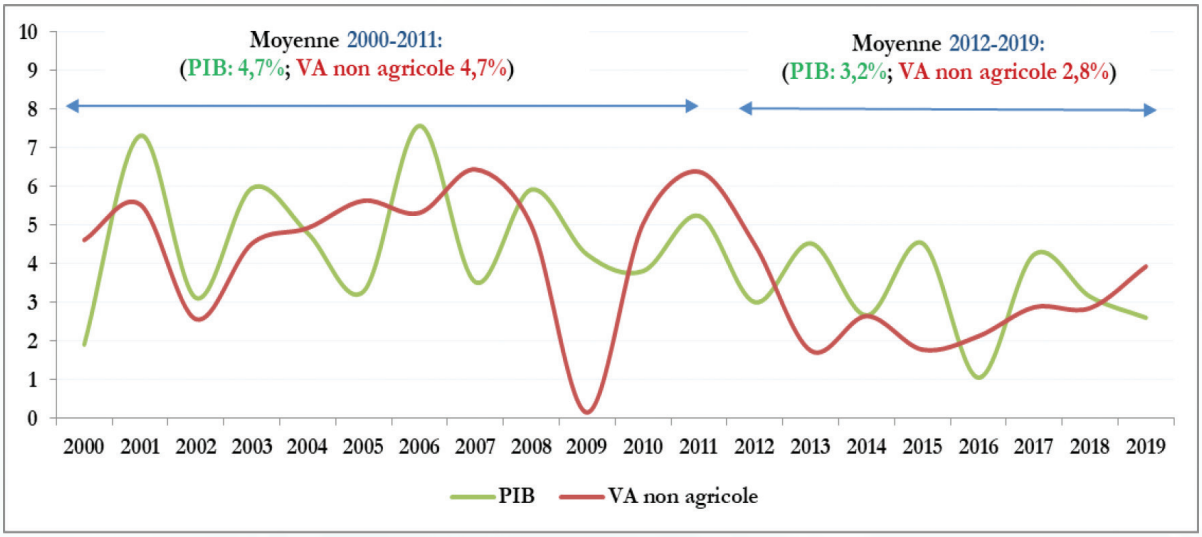
Taouil R. [2021], «Mandat de la Banque centrale et politique monétaire : l'automne à Pékin», CREG, Université Grenoble Alpes.

Taouil R. et Soual M. [2020], «Régime de politique économique et développement», N. El Aoufi et B. Billaudot [eds), *Industrialisation et développement, Made in Maroc Made in Monde*, Rabat, Critique économique.

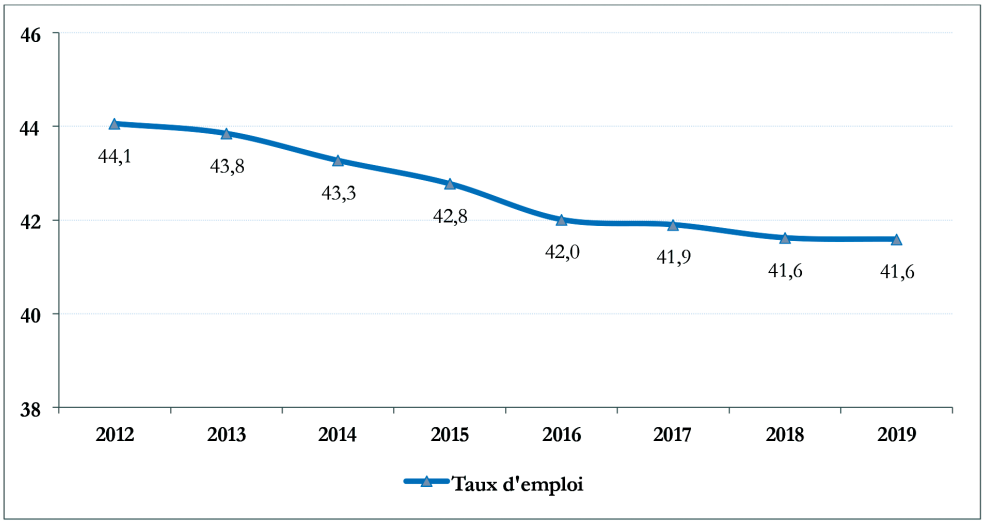
5- La préconisation de l'intégration dans les statuts de Bank Al-Maghrib d'un mandat dual, apparaît, à l'examen, lacunaire à un double titre : outre qu'elle ne procède pas d'un diagnostic des mécanismes de transmission des impulsions monétaires à l'économie réelle, elle n'explicite pas les relations entre le refinancement du système bancaire, l'inflation et l'activité éludant ainsi la question essentielle entre instruments et objectifs de la Banque centrale (R. Taouil 2021).

ANNEXE

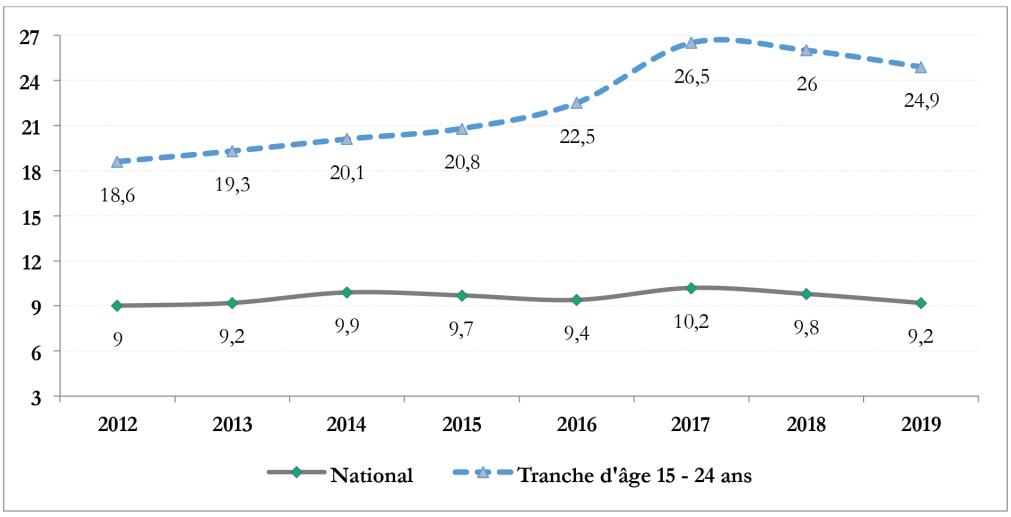
Graphique 1 : Evolutions du PIB et la valeur ajoutée non agricole



Graphique 2 : Evolution du taux d'emploi sur la période 2012-2019 (en %)



Graphique 3 : Evolution du taux de chômage sur la période 2012-2019 (en %)



Graphique 4 : Evolution du taux d'activité sur la période 2012-2019 (en %)

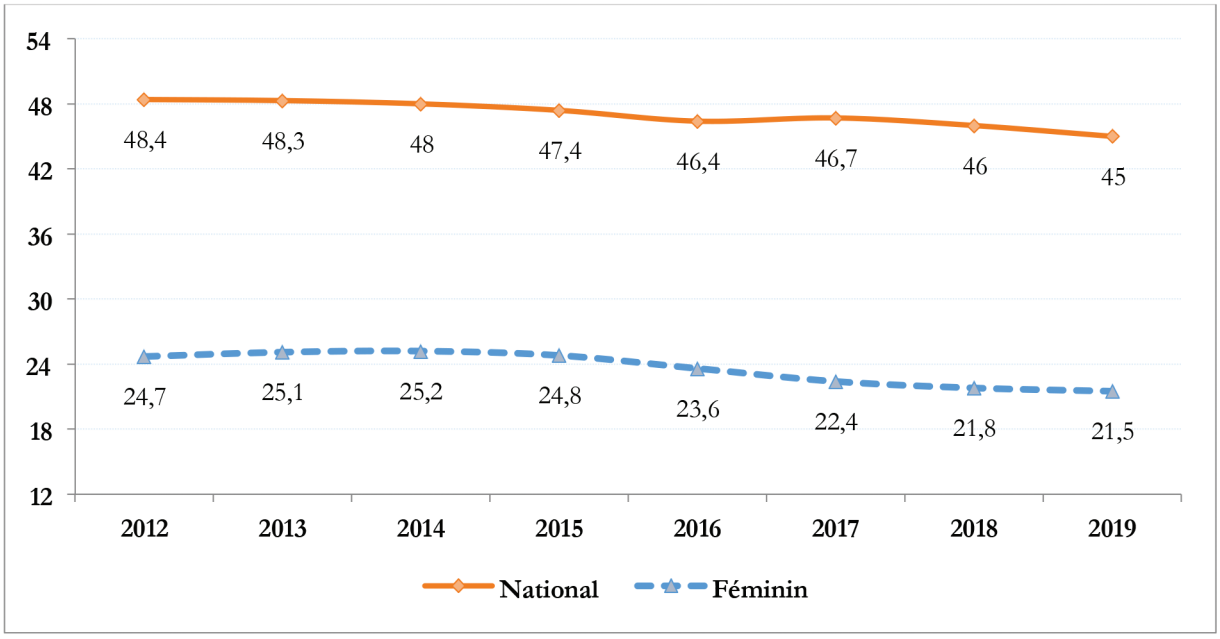


Tableau 1 : Variation annuelle des éléments de l'équilibre du PIB

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
PIB	**3,0**	**4,5**	**2,7**	**4,5**	**1,1**	**4,2**	**3,2**	**2,6**
Consommation finale totale	**5,2**	**3,4**	**2,9**	**2,3**	**3,2**	**3,3**	**3,2**	**2,6**
Consommation finale des ménages	*4,1*	*3,2*	*3,1*	*2,2*	*3,7*	*3,8*	*3,4*	*1,9*
Consommation finale des Adm pub.	*8,5*	*4,2*	*2,0*	*2,4*	*1,5*	*2,1*	*2,7*	*4,8*
Consommation des ISBL	*6,9*	*1,9*	*14,0*	*8,9*	*6,1*	*2,1*	*3,2*	*4,3*
Investissement	**-0,9**	**5,0**	**-2,2**	**0,9**	**8,7**	**4,1**	**5,8**	**-0,4**
FBCF	3,6	-0,5	-1,3	0,2	8,8	-0,2	1,2	1,0
Variation de stocks	-34,4	79,3	-9,7	8,2	8,2	59,1	38,5	-8,7
Exportations nettes B&S	**-0,9**	**0,0**	**1,4**	**2,9**	**-5,2**	**0,4**	**-1,5**	**0,9**
Exportations B&S	*2,7*	*0,0*	*9,0*	*5,5*	*6,0*	*11,1*	*6,0*	*6,2*
Importations B&S	*3,3*	*-0,1*	*3,8*	*-1,1*	*14,5*	*7,9*	*7,4*	*3,4*

Tableau 2 : Contribution des composantes de la demande dans la croissance du PIB

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
PIB	**3,0**	**4,5**	**2,7**	**4,5**	**1,1**	**4,2**	**3,2**	**2,6**
Consommation finale	**4,1**	**2,8**	**2,3**	**1,9**	**2,4**	**2,6**	**2,5**	**2,0**
Consommation ménages	*2,4*	*1,9*	*1,8*	*1,3*	*2,1*	*2,2*	*2,0*	*1,1*
Consommation des APU	*1,6*	*0,8*	*0,4*	*0,5*	*0,3*	*0,4*	*0,5*	*0,9*
Consommation ISBL	*0,0*	*0,0*	*0,1*	*0,0*	*0,0*	*0,0*	*0,0*	*0,0*
Investissement	**-0,3**	**1,8**	**-0,8**	**0,3**	**2,7**	**1,3**	**1,9**	**-0,1**
FBCF	*1,1*	*-0,2*	*-0,4*	*0,1*	*2,5*	*-0,1*	*0,3*	*0,3*
Variation de stocks	*-1,5*	*1,9*	*-0,4*	*0,2*	*0,2*	*1,4*	*1,5*	*-0,4*
Exportations nettes B&S	**-0,7**	**0,0**	**1,1**	**2,4**	**-4,1**	**0,3**	**-1,2**	**0,8**
Exportations B&S	*0,9*	*0,0*	*3,0*	*1,9*	*2,1*	*3,9*	*2,2*	*2,4*
Importations B&S	*-1,6*	*0,0*	*-1,8*	*0,5*	*-6,1*	*-3,6*	*-3,5*	*-1,7*

Appui à la recherche scientifique et technique

Projet RafriBAT

SYSTÈMES SOLAIRES PASSIFS DE RAFRAICHISSEMENT DES BATIMENTS

Chef de Projet: Brahim Benhamou

Université Cadi Ayyad Marrakech, BBenhamou@uca.ac.ma

BRIEF SUMMARY

In Morocco, the operation of buildings' air conditioning systems represents a share of more than 30% of the total electricity consumption. Furthermore, the impact of air conditioners usage on electricity demand is a big issue for the National Electricity Authority (www.one.org.ma) as the peak electricity load increases continuously. It is well known that, in the past, people developed empirical solutions (architectural, but also behavioral) to reach an acceptable level of indoor thermal comfort. This was true in Morocco with its "traditional" way of life. However, the standardization of construction and the rapid growth of family income induce higher comfort requirements, which is mostly achieved through the use of electric air-conditioning equipment, especially in modern houses. This is leading to a significant increase in energy consumption and consequently in greenhouse gas emission.

RafriBat project aims at studying the impact of passive and hybrid systems for natural air refreshment and heating on residential buildings energy efficiency. The project focuses on the buildings' envelope in order to point out the synergy between an adapted envelope and the use of passive and hybrid systems for cooling/heating. Specifically, case study of buildings that integrate some passive systems and techniques for air cooling/heating are monitored. In the second part of the project, selected passive systems for air cooling/heating are tested individually indoor (laboratory test) as well as outdoor test-cells. A dynamic thermo-aeraulic simulation tool is also used to develop a well validated computer code based on the experimental results. Afterwards, this computer code is used for the design of energy efficient buildings in different climate zones of Morocco. Moreover, innovative construction materials were developed and tested after adequate thermal and mechanical characterization.

RÉSUMÉ SYNTHÉTIQUE

Les systèmes de climatisation des bâtiments au Maroc sont responsables d'environ 30% de l'énergie électrique totale consommée annuellement. De plus, ces systèmes sont les premiers contributeurs au pic de la demande en énergie électrique, dont l'augmentation soutenue constitue un grand problème à l'autorité nationale en charge de la distribution de l'électricité (www.one.org.ma). Il est fort connu que, dans le passé, les peuples ont développé des solutions empiriques, aussi bien architecturales que comportementales, pour assurer un confort thermique acceptable dans leurs bâtiments. Ceci est aussi vrai au Maroc, dans le mode de vie ancestral. Cependant, la standardisation de la construction et le développement rapide des villes ainsi que l'accroissement des revenus familiaux ont conduit à une exigence d'un confort thermique «industrialisé» qui est, dans une large proportion, atteint à travers les climatiseurs type pompe à chaleur, spécialement dans les maisons de récente construction. C'est ce qui a augmenté fortement la consommation en énergie électrique des bâtiments avec les émissions de gaz à effet de serre inhérentes à la production, principalement par voie de combustion, de cette énergie.

Le projet *RafriBat* a pour objectif l'étude de l'impact de l'intégration de systèmes et techniques passifs et hybrides (systèmes à faible consommation d'énergie) de refroidissement et chauffage sur l'efficacité énergétique des bâtiments résidentiels. Dans ce projet, nous nous concentrons sur l'enveloppe du bâtiment afin de chercher la bonne synergie entre une enveloppe adaptée au climat et l'utilisation de ces systèmes/techniques. Spécifiquement, plusieurs bâtiments, de construction récente, intégrant quelques un de ces systèmes/techniques ont été suivis expérimentalement sur une longue durée en diverses périodes de l'année. Ce suivi a permis d'identifier la performance de ces systèmes/techniques. Des modèles numériques, développés sous l'environnement d'un logiciel de simulation thermique dynamique, et validés expérimentalement, ont permis l'indentification de la performance de chaque système/technique ou de la combinaison de plusieurs systèmes/techniques. Dans une deuxième étape, des systèmes/techniques sélectionnés ont été testés individuellement en cellules test de laboratoire ou soumis aux conditions météo réelles. Toutes ces études ont été menées dans le climat chaud et semi-aride de Marrakech et sa région. Par la suite, l'outil de simulation validé a été utilisé pour généraliser l'étude à tous les climats représentant les cinq autres zones climatiques du Maroc. Des conclusions sur la performance de chaque système/technique en différents climats ont été produites. Par ailleurs, plusieurs études expérimentales sur les matériaux de construction ont été réalisées. Ces études ont concerné la fabrication et la caractérisation thermomécanique de matériaux de construction innovants et énergétiquement efficaces.

Motivation du projet

L'habitat traditionnel marocain regorge de techniques et systèmes passifs issus essentiellement de l'expérience le rendant naturellement confortable. D'autres techniques et systèmes passifs ou hybrides, ont été intégrés dans les bâtiments à travers l'histoire, surtout dans le pourtour méditerranéen, pour le rendre énergétiquement efficace. Plusieurs de ces systèmes/techniques ont été abondement étudiés dans la littérature scientifique. Ces études ont montré leur efficacité dans des climats très divers. Cependant, la plupart de ces systèmes/techniques restent peu connus et utilisés par les architectes et les bureaux d'études. L'abandon ou la méconnaissance de ces techniques/systèmes ont fait que les bâtiments de construction récente sont peu confortables thermiquement, et nécessitent le recours à des systèmes de climatisation active très énergivores. Il s'en suit des coûts d'exploitation élevés et une large contribution au pic de consommation électrique, qui se produit en été, et donc alourdit la facture énergétique nationale. Afin de promouvoir l'utilisation des techniques/systèmes passifs de rafraîchissement, la démonstration *in-situ* et le développement d'outils quantifiables de faisabilité sont nécessaires. Ce projet a pour objectif de contribuer à cet effort de démonstration et de développement.

Objectif du projet

Le projet *RafriBat* a pour principal objectif l'évaluation de l'impact des techniques/systèmes passifs ou à faible consommation d'énergie (systèmes dits hybrides), intégrés aux bâtiments résidentiels, sur leur performance énergétique. Le projet est principalement focalisé sur les climats chauds et semi-arides, avec comme cas d'étude la région de Marrakech. La généralisation à toutes les six zones climatiques du Royaume est aussi amorcée.

Bref descriptif de la méthodologie du projet

L'exécution du projet *RafriBat* a été menée en cinq lots de travaux interdépendant:

WP1: Evaluation expérimentale des performances énergétiques de techniques et systèmes intégrés à des bâtiments existants dans la région de Marrakech,

WP2: Evaluation expérimentale de techniques passives en cellules tests *outdoor* et *indoor*.

WP3: Développement d'outils de simulation performants et validés par comparaison aux mesures réalisées dans les bâtiments étudiés,

WP4: Utilisation des outils de simulation pour concevoir des bâtiments performants adaptés aux six zones climatiques de notre pays,

WP5: Elaboration, caractérisation et test de matériaux de construction innovants et énergétiquement efficaces.

Les études, menées dans le cadre de ces lots de travaux, ont été réalisées par 12 doctorants et 12 étudiants en Master, supervisés par 8 chercheurs seniors.

Synthèse des résultats obtenus

Les travaux de recherche menés par les chercheurs impliqués dans le projet ont concerné les techniques et systèmes suivants: isolation thermique, masse thermique, *geocooling*, matériaux de construction, techniques d'ombrage et techniques de *cool roof*.

Les principaux résultats pratiques obtenus dans le projet *RafriBat* peuvent être synthétisés comme suit :

- La masse thermique combinée avec l'isolation thermique joue un rôle primordial dans la performance énergétique de bâtiments dans les climats chauds des zones climatiques de MARRAKECH, ERRACHIDIA et FES. L'isolation thermique seule mène à des surchauffes alors que la masse thermique permet de stabiliser la température intérieure du bâtiment et d'éviter ainsi les surchauffes estivales. Une grande masse thermique associée à une bonne isolation en matériaux locaux (chanvre & perlite) permet d'assurer un confort thermique intérieur acceptable durant plus de 80% du temps sur une année [*Mastouri et al. Energy and Buildings, 2017; Sobhy et al. Journal of Green Building, 2017*].
- L'isolation thermique des murs avec la technique simple de double mur (*cavity wall*) emprisonnant une cavité d'air de 5 cm est suffisante dans tous les climats du Maroc, excepté celui de la zone climatique d'IFRANE [*Sobhy et al. Journal of Engineering for Sustainable Buildings & Cities, 2021; Sobhy et al. Journal of Green Building, 2017*].
- L'isolation thermique des toitures avec une épaisseur d'isolant variant entre 4 et 6 cm, selon le climat, est essentielle pour assurer une bonne efficacité énergétique [*Drissi & Benhamou, Building Simulation, 2018*; *Sobhy et al. Journal of Engineering for Sustainable Buildings & Cities, 2021*].

- La couleur extérieure des parois d'un bâtiment est un facteur qui influe de manière significative sa charge thermique. Une couleur claire, à faible absorption thermique, contribue ainsi à une réduction non négligeable de la charge thermique de refroidissement. Ceci est très critique pour la toiture terrasse dans toutes les zones climatiques, exceptée celle d'Ifrane, pour lequel une couleur foncée est bénéfique du fait de la charge de chauffage dominante. Par ailleurs, l'étude expérimentale menée sur des cellules test *outdoor* a clairement montré qu'une simple peinture blanche de la toiture terrasse permet de réduire jusqu'à 13°C la température de surface du plafond d'un bâtiment, tout en permettant un refroidissement convecto-radiatif nocturne de la dalle toiture [*Kachkouch et al. Energy and Buildings, 2018*].
- Les techniques de *geocooling*, utilisant la grande capacité thermique du sol permettent d'assurer un rafraichissement efficace des bâtiment dans les climats chauds tels que ceux des zones climatiques de MARRAKECH, ERRACHIDIA et FES [*Khabbaz et al. Energy and Buildings, 2016; Sakami et al. Journal of Thermal Science Engineering and Application, 2020; Mahach et al. Journal of Thermal Science Engineering and Application, 2021; Sobhy et al. Journal of Engineering for Sustainable Buildings & Cities, 2021; Mahach & Benhamou, Journal of Thermal Science Engineering and Application, 2021*].
- L'isolation thermique du plancher sur terre-plein n'est nécessaire que dans le climat froid de la zone climatique d'IFRANE, où la charge thermique de chauffage est prédominante. De plus, cette isolation exigée dans le RTCM (Règlement Thermique des Constructions au Maroc) dans sa version prescriptive, mène à une surchauffe du bâtiment et l'empêche de bénéficier de l'effet rafraichissant du sol [*Mahach et al. Journal of Thermal Science Engineering and Application, 2021; Sobhy et al. Journal of Engineering for Sustainable Buildings & Cities, 2021*].
- La ventilation naturelle nocturne permet de réduire l'inconfort thermique dans les ambiances intérieures des bâtiments résidentiels de manière significative dans les climats chauds tel que celui de la région de Marrakech [*Mastouri et al. IRSEC2019 IEEE Xplore, 2019*].
- La technique de rafraichissement par un échangeur de chaleur air-sol (communément dit '*puits canadien*') assure une température stable et confortable de soufflage dans le bâtiment. Cette température est égale à la moyenne annuelle de la température météo du lieu, si l'échangeur est enterré à une profondeur de 2 à 3m dépendamment de la nature du sol. Une longueur minimale de l'échangeur, qui varie entre 30 et 50m selon la nature du sol, est nécessaire pour assurer un rafraichissement confortable. Ce rafraichissement est obtenu au prix de quelques centaines de watt d'électricité consommée par les ventilateurs pouvant être alimentés par l'énergie solaire photovoltaïque, dont la disponibilité est en phase ave le besoin [*Khabbaz et al. Energy and Buildings, 2016; Mahach & Benhamou, Journal of Thermal Science Engineering and Application, 2021*].
- La rénovation thermique proposée dans ce projet est très rentable dans les zones climatiques d'IFRANE, ERRACHIDIA, MARRAKECH et FES avec des temps de retour sur investissement de 5 et 8,5 pour les deux premiers et 10 ans pour les deux derniers. Le coût de cette rénovation est assez abordable et est d'environ 120DH/m^2 sauf à IFRANE où il est doublé. Pour les zones climatiques de TANGER et AGADIR, les coûts sont similaires mais avec des temps de retour sur investissement plus long et qui sont respectivement de 15 et 20 années [*Sobhy et al. Journal of Engineering for Sustainable Buildings & Cities, 2021*]
- Des matériaux de construction innovants incorporant des coproduits végétaux, considérés comme des déchets agricoles, ou des matériaux à changement de phase MCP ont été développés. Ainsi le béton-fibré, confectionné en y incorporant des fibres de palmier dattier, répond aux normes en vigueur en terme de résistance mécanique tout en étant plus performant thermiquement avec une conductivité thermique réduite de 70% comparé au béton sans fibres [*Boumhaout et al., Construction and Buildings Materials, 2017*]. Par ailleurs, le problème de la faible conductivité thermique des MCP, qui impacte négativement le stockage thermique du matériau de construction dans lequel il est intégré, a été résolu par une méthode originale de mélange avec des nanomatériaux stabilisés [*OUIKHALFAN et al. Journal of Dispersion Science and Technology 2020*].

Principales réalisations par lot de travaux

WP1: Performance énergétique de bâtiments existants intégrants des systèmes passifs:

L'objectif de ce lot de travaux est d'évaluer les performances thermiques de systèmes passifs et hybrides dans des conditions réelles. Ces systèmes

sont intégrés à des bâtiments existants qui ont été pris comme cas d'étude. Quatre bâtiments ont ainsi été étudiés dans ce projet:

- une maison unifamiliale, de type villa de moyen standing, intégrant des techniques et systèmes passifs. La maison, dite AMYS, est située dans la banlieue de Marrakech est propriété du gérant du bureau d'étude ISTICHAR (Partenaire du projet *RafriBat*)
- une maison unifamiliale semi-détachée à Marrakech, du type «Maison Marocaine Moderne», dite NASSIM. Cette maison, mise à disposition par un chercheur membre du projet, a été rénovée par son propriétaire durant l'exécution du projet. La rénovation a été modélisée au moyen d'un outil de simulation validé expérimentalement par comparaison aux mesures réalisées dans NASSIM pendant une période assez longue aussi bien en été qu'en hiver.
- un appartement de moyen standing à Marrakech (nom de code ADAM), mis gracieusement à la disposition du projet par son propriétaire.
- une villa, faite en matériaux locaux, du complexe VILLA CHERCHEURS construit par la SADV (Société d'Aménagement et de Développement Vert - filiale du groupe OCP) au campus de UM6P à Benguerir (nom de code ZITOUNE). Cette villa, conçue par l'architecte partenaire du projet *RafriBat*, a été mise à disposition du projet pour un suivi scientifique.

Les travaux de recherche de ce WP ont été réalisés dans la cadre des thèses de Doctorat de Mohamed KHABBAZ, Issam SOBHY, Hicham MASTOURI, El-Hadi DRISSI LAMRHARI, Fatima-Ezzahra LAFQIR et Hassan MAHACH.

WP2: Evaluation expérimentale de techniques passives en cellules tests *indoor* ou *outdoor*:

L'objectif de ce lot de travaux est d'évaluer expérimentalement la performance de techniques passives intégrées à la toiture ou au mur de bâtiments. Cette évaluation a été réalisée aussi bien en conditions météo réelles (cellules test *outdoor*) qu'en conditions contrôlées en laboratoire (cellules test *indoor*)

Les cellules test *outdoor* ont été fabriquées pour tester des systèmes passifs de rafraichissement de toiture en conditions réelles. La cellule test *indoor* a été utilisée pour la mesure de l'effet de l'intégration des matériaux à changement de phase (PCM) dans les murs ou dans la toiture, sur les conditions d'ambiance intérieure. De plus, un prototype de bâtiment de l'université Cadi Ayyad, construit en pisé et intégrant des techniques naturelles de rafraichissement, a été étudié.

Les systèmes étudiés ont concerné l'isolation thermique, l'ombrage, la technique du *cool roof* et l'accroissement de la capacité thermique des matériaux de construction. L'isolation thermique a été réalisée, en particulier, au moyen d'isolants naturels (roseaux) alors que la capacité thermique a été augmentée, soit à travers des matériaux de construction faits en terre crue (pisé), soit à travers l'intégration de PCM. L'expérimentation sur l'intégration des PCM dans le bâtiment a aussi été exploitée afin de mesurer le coefficient d'échange entre une paroi active (qui intègre un PCM) et l'air intérieur. Cette mesure a donné lieu à une corrélation originale de ce coefficient. Cette étude a été complétée par une étude de simulation numérique dont le code de calcul a été construit par l'équipe de la Faculté des Sciences et Techniques Marrakech de l'université Cadi Ayyad.

Les travaux de recherche de ce WP ont été réalisés dans la cadre des thèses de Doctorat de Salah KACHKOUCH et Abdelouahab LABIHI.

WP3: Développement d'outils de simulation:

Plusieurs outils de simulation thermo-aérauliques des bâtiments ont été développés sous l'environnement du logiciel de simulation dynamique TRNSYS. Ce dernier a été acquis par l'université Cadi Ayyad sur les fonds du projet *RafriBat*. Ces outils, validés expérimentalement par comparaison aux résultats des suivis expérimentaux (monitoring) réalisés dans WP1. Ces outils permettent d'évaluer les performances énergétiques de bâtiments avec divers systèmes passifs ou hybrides. Le développement de ces outils a permis aux chercheurs du projet d'acquérir une expertise en simulation dynamique de bâtiments. Cette expertise est utile pour la mise en place du Règlement Thermique des Constructions au Maroc – RTCM – dans sa version performantielle.

Par ailleurs, un outil de simulation des échangeurs de chaleur air-sol - TYPE460, fourni gracieusement par Dr Pierre HOLLMULLER, chercheur à l'université de Genève en Suisse - a été validé pour la première fois en conditions réelles d'un climat chaud avec surface du sol soumise aux conditions météo. Cet outil a été ensuite utilisé pour développer des abaques pour la conception des échangeurs de chaleur air-sol dans divers climats et différents types de sol.

Les travaux de recherche de ce WP ont été réalisés dans la cadre des thèses de Doctorat de Mohamed KHABBAZ, Issam SOBHY, Hicham MASTOURI, Meryem NAOUM, Fatima-Ezzahra LAFQIR, Hassan MAHACH et Naima SAKAMI.

WP4: Conception de bâtiments performants énergétiquement dans divers climats du Royaume

La recherche initialement prévue pour être réalisée dans le climat chaud et semi-aride de la région de Marrakech a été étendue à toutes les zones climatiques du Maroc. Ainsi, les outils de simulation numérique développés et validés à travers les travaux menés dans WP1 et WP2, ont été exploités pour concevoir divers types de bâtiments efficaces dans les six zones climatiques du Maroc. Ces bâtiments résidentiels sont une maison type «Maison Marocaine Moderne», un appartement moyen standing et une villa moyen standing. Aussi, l'outil de conception des échangeurs de chaleur air-sol, développé et validé dans WP2, a été utilisé pour établir des abaques pour le dimensionnement de l'échangeur dans les divers climats et types de sol du Maroc. Ces abaques permettent ainsi de concevoir un échangeur efficace pour le rafraichissement/chauffage des bâtiments dans les six zones climatiques en fonction des contraintes locales. Par ailleurs, l'évaluation expérimentale du potentiel de chauffage et de rafraichissement du plancher sur terre-plein, réalisée dans la maison AMYS, a permis d'établir des corrélations entre la température de surface de ce plancher et la météo. Ce qui permet une évaluation rapide et correcte de la décision d'isoler ou non un plancher sur terre-plein selon le climat. D'autre part, l'outil numérique d'évaluation du potentiel de chauffage et de rafraichissement du sol dans un bâtiment semi-enterré, a été utilisé pour réaliser cette évaluation dans les six zones climatiques du Royaume, avec des conclusions pratiques sur ce type de bâtiment.

Les travaux de recherche de ce WP ont été réalisés dans la cadre de 5 thèses de Doctorat de: Issam SOBHY, Fatima-Ezzahra LAFQIR, Hassan MAHACH, El-Hadi DRISSI LAMRHARI et Naima SAKAMI.

WP5: Matériaux de construction innovants et énergétiquement efficaces.

Le travail de recherche sur les matériaux de construction a été mené à travers la valorisation de déchets agricoles (Fibres de palmier dattier et grignons d'olives) en les incorporant dans le béton afin d'en réduire la conductivité thermique tout en le rendant plus léger. La conductivité thermique du 'béton-fibré' ainsi obtenue a été réduite de 70% comparativement à du béton sans fibres avec un allégement du poids très remarquable, tout en respectant les normes en vigueur en terme de résistance à la compression. De plus, les fibres de palmier dattier ont été valorisées à travers la conception de panneaux isolants. Par ailleurs, une recherche sur l'amélioration de l'intégration des matériaux à changement de phase (PCM) dans le bâtiment a été réalisée. L'objectif étant d'améliorer la conductivité thermique du PCM en y incorporant des nanoparticules, ce qui permettra de mieux stocker la chaleur dans le PCM dans le but d'améliorer les performances thermiques du bâtiment. Après avoir réussi à concevoir une technique de stabilisation par ionisation d'un nano-fluide, plusieurs nano-PCM (PCM incorporant des nanoparticules) ont été fabriqués et caractérisés. Il a ainsi été montré que le nano-PCM, ainsi conçu, est stable et les nanoparticules qui y sont incorporées restent suspendues après plusieurs cycles de charge/stockage et décharge/déstockage. La conductivité thermique du nano-PCM a été améliorée de 150%. Par ailleurs, afin d'éviter la perte du PCM lors de sa liquéfaction, une forme stabilisée incorporée dans une argile minérale a été développée. Un taux d'incorporation sous vide de 46% a été atteint. Le composite argile-nano-PCM ainsi développé, s'est révélé fiable chimiquement et thermiquement, avec une chaleur latente pouvant atteindre 73 kJ/kg, ce qui en fait un matériau de construction efficace pour le stockage thermique. D'autre part, l'intégration dans le bâtiment du composite argile-nano-PCM a été étudiée expérimentalement au laboratoire sous forme de mortier, où le sable est partiellement remplacé par le nano-PCM intégré à l'argile. Le composite a ainsi été testé dans une cavité représentant une configuration de bâtiment à l'échelle du laboratoire. Il a été montré que ce composite permet d'atténuer la température maximale de l'air à l'intérieur de la cavité, grâce au stockage thermique et au déphasage qui en résulte.

Les travaux de recherche de ce WP ont été réalisés dans la cadre des thèses de Doctorat de Mohamed OUIKHALFAN et Mustapha BOUMHAOUT.

Publications archivales du projet

Un total de 65 publications a été produit au terme du projet RafriBat, dont 21 publications *archivales* publiées dans des journaux scientifiques internationaux spécialisés, et

majoritairement à facteur d'impact. Parmi les publications produites, 44 communications ont été présentées par les 12 doctorants du projet dans des conférences spécialisées avec actes. 12 de ces communications ont été publiées dans la base de données IEEE indexée dans SCOPUS. Par ailleurs, le coordinateur du projet a donné 14 conférences thématiques dans des congrès internationaux spécialisés ou des ateliers ou journées spécifiques. Toutes les publications réalisées dans la cadre du projet RafriBat sont disponibles sur ce lien web www.researchgate.net/profile/BrahimBenhamou. La liste des publications *archivales* est founie en annexe.

Signalons que plusieurs résultats du projet sont toujours en cours de valorisation pour publication, en particulier ceux obtenus par Hassan MAHACH et Issam SOBHY.

Devenir professionnel des chercheurs du projet

La majorité des chercheurs juniors du projet *RafriBat* ont été embauchés dans diverses institutions publiques ou privées. Ainsi, 4 docteurs gradués dans le cadre du projet sont des enseignants-chercheurs permanents d'universités ou écoles. Deux autres chercheurs ont été recrutés en tant que Post-Doct dans deux laboratoires, un français et un autre allemand, travaillant sur la thématique de l'efficacité énergétique dans les bâtiments. Voici, le détail du devenir professionnel des docteurs gradués dans le cadre du projet RafriBat:

Dr Mohamed KHABBAZ (gradué en décembre 2016), Enseignant vacataire à l'Ecole d'Ingénierie de l'Université Internationale de Rabat (UIR).

Dr Issam SOBHY (gradué en juillet 2017), Professeur-Assistant à l'Ecole Nationale d'Architecture de Marrakech (ENAM).

Dr Mustapha BOUMHAOUT (gradué en mai 2018), Professeur-Assistant à l'Ecole Nationale de Commerce et de Gestion (ENCG) de Guelmim, Université IBN-ZOHR.

Dr Hicham MASTOURI (gradué en juillet 2018), Professeur-Assistant à la *School of Architecture Planning and Design* de l'Université UM6P à Benguerir.

Dr El-Hadi DRISSI LAMRHARI (gradué en décembre 2018), Professeur-Assistant à l'Ecole Marocaine des Sciences de l'Ingénieur (EMSI) à Marrakech.

Dr Salah KACHKOUCH (gradué en décembre 2018), engagé dans une société privée de construction.

Dr Abdelouahab LABIHI (gradué en juillet 2020) : chercheur Post-Doc au laboratoire de Génie Civil et Génie Mécanique de l'Université de Rennes France, depuis avril 2021.

Hassan MAHACH (thèse de Doctorat déposée et soutenance programmée en juin 2021), engagé comme chercheur Post-Doc à l'Institut des Energies du Futur IZES de Saarbrücken, Allemagne.

Collaborations et effet de levier du projet

Le projet de recherche *RafriBat* a eu un effet de levier pour mener des collaborations avec plusieurs chercheurs à l'international et des professionnels nationaux. Plusieurs de ces collaborations ont été réalisées dans le cadre des travaux de recherche menés par les doctorants du projet *RafiBat*.

- Université de Genève, Suisse : mise à disposition de l'outil de simulation des échangeurs air-sol développé par Dr Pierre Hollmuller et collaboration pour la réalisation de 2 thèses de doctorat (Khabbaz & Mahach).
- Université de La Rochelle France: collaboration dans le cadre de 2 projets de recherche financés par la coopération Maroc-France (projet TOUBKAL & projet de soutien aux Pôles de Compétence) pour la réalisation de 2 thèses de Doctorat en cotutelle (Khabbaz & Kachkouch) et une thèse de doctorat en codirection (Lafqir).
- IZES (Institut de recherche sur les énergies du futur) à Saarbrücken en Allemagne: collaboration dans le cadre d'un projet de coopération financé par le programme PMARS (Programme Maroco-Allemand de Recherche Scientifique) et contribution à la réalisation d'une thèse de Doctorat (Mahach).
- SADV (Société d'Aménagement et de Développement Vert – filiale du groupe OCP) & Cabinet d'Architecure Elie Mouyal (Partenaire socio-économique du projet *RafriBat*): collaboration pour l'évaluation énergétique des maisons du complexe VILLA CHERCHEURS, sis au campus de l'Université Mohamed VI Polytechnique à Benguerir. Cette collaboration a été concrétisée par la réalisation d'une thèse de doctorat (Mastouri).
- *Technical University of Civil Engineering*, Bucarest, Roumanie: Collaboration avec le groupe de recherche sur le bâtiment du *Building Services Department* durant la période

2016-2017. Cette coopération, pilotée par Professeur Cristiana VERONA CROITORU à l'université de Bucarest et Professeur Hassan CHEHOUANI, coordonateur de l'équipe de la FST de Marrakech dans le projet *RafiBat*, a donné lieu à un long séjour de recherche du doctorant Abdelouhab LABIHI dans le groupe de recherche roumain financé par la bourse d'excellence de l'AUF (Agence Universitaire de la Francophonie) obtenue par M. LABIHI.

- *Karadeniz Technical University* à Trabzon en Turquie: collaboration avec Prof. Ahmet SARI du *Department of Materials and Metallurgy Engineering* dans le cadre de la thèse de doctorat de Mohamed Ouikhalfan. Celui-ci a séjourné dans l'université turque pour une longue période financée par une bourse du programme de recherche aux profits des jeunes chercheurs de la TÜBITAK (*Scientific and Technological Research Council of Turkey*).
- *Colorado School of Mines, Colorado University USA*: Collaboration de plusieurs chercheurs du projet *RafriBat* pour la conception et la construction d'un prototype de bâtiment durable dans le cadre de la compétition étudiante *Solar Decathlon Africa SDA2019*, co-organisée par IRESEN et UM6P à Benguerir en septembre 2019.

Par ailleurs, le projet *RafriBat* a agit comme effet de levier pour les projets de recherche de l'équipe de l'université Cadi Ayyad. Ainsi, trois projets de coopération internationale (2 Maroc-France & 1 Maroc-Allemagne) et un projet de recherche national, tous dans le domaine de l'efficacité énergétique dans le bâtiment, ont été obtenus par les membres des laboratoires de l'équipe de l'université Cadi Ayyad. Le projet national, obtenu en 2018, est financé par IRESEN et implique les trois laboratoires ayant participé dans *RafriBat*. Ce projet, qui concerne les matériaux de construction, est la suite de la recherche réalisée dans le lot WP5.

Impact socio-économique

La majorité des docteurs diplômés dans le cadre du projet *RafriBat* ont été recrutés dans diverses institutions publiques ou privées. De plus, un transfert de savoir de l'université vers le monde économique a été réalisé à travers les partenaires professionnels du projet. Ces partenaires ont bénéficié de ses retombées directes dans leurs projets professionnels. Ainsi, le bureau d'étude ISTICHAR a acquis une expérience dans l'intégration des systèmes passifs dans les bâtiments pour en améliorer l'efficacité énergétique. Ce bureau d'étude a réalisé plusieurs études au profit de ses clients dans la région de Marrakech pour la construction de maisons énergétiquement efficaces. Il a aussi développé plusieurs projets privés intégrant un échangeur air-sol pour le rafraichissement des bâtiments. D'autre part, l'architecte ELIE MOUYAL, partenaire de ce projet, a pu bénéficier de l'étude scientifique menée dans le cadre de la thèse de Doctorat de Hicham Mastouri pour mettre en valeur son projet «villas des chercheurs» développé au profit de la Société d'Aménagement et de Développement Verts - SADV - filiale du groupe OCP. Ce projet constitue d'ailleurs un des *'living lab'* de l'Université Mohamed VI Polytechnique (UM6P), où M. Mastouri exerce actuellement en tant que chargé de recherche et d'éducation (*Research and Education Fellow*).

Le savoir acquis dans ce projet a été transféré aux architectes professionnels ou juniors à travers des cours académiques sur l'efficacité énergétique dans le bâtiment et l'habitat bioclimatique donnés par le coordinateur du projet aux élèves architectes de l'Ecole Nationale d'Architecture de Marrakech (ENAM), durant la période 2015-2018, ainsi qu'aux étudiants du *Bachelor in Architecture* et en Master *Green Building Engineering & Energy Efficiency* de la *School of Architecture Planning & Design* (SAP+D) de l'université UM6P, depuis 2018. Dr Issam SOBHY – lauréat de *RafriBat* – a été recruté en 2018 à ENAM en tant que Professeur Assistant, où il assure, en particulier, les cours sur l'efficacité énergétique et le bâtiment bioclimatique.

Impact scientifique

Le projet *RafriBat* a eu un impact scientifique certain à travers :

- Le nombre de haut-cadres spécialisés formés sur la thématique de l'efficacité énergétique dans le bâtiment. 12 Docteurs et 12 étudiants en Master ont ainsi été formés, dont la majorité a déjà intégré la vie professionnelle.
- Le partenariat entrepris avec l'Université Polytechnique Mohammed VI –UM6P– ainsi que la plateforme de R&D *Green and Smart Building Park* du *Green Energy Park* - GEP - à Benguerir, pour les faire bénéficier du savoir faire acquis par l'équipe du projet *RafriBat*. Ce partenariat s'est concrétisé à travers la participation de certains membres du projet *RafriBat* dans l'enseignement dans des filières Master conjoints de UM6P et GEP ainsi que le conseil scientifique et le montage de projets de recherche collaboratifs.

- Le développement de nouveaux produits, dont des matériaux composites innovants pour l'isolation thermique et l'intégration des PCM au bâtiment ainsi que de systèmes et techniques pour le rafraichissement passif des bâtiments (outils de conception de «puits canadien», techniques de protection de la toiture, ..).
- L'initiation d'un projet de R&D en partenariat avec un industriel pour la fabrication d'un matériau de construction énergétiquement efficace et écologique. Ce projet est financé, dans le cadre de l'appel à projet *Green InnoProjects*, par l'Institut de Recherche en Energie Solaire et Energies Nouvelles (IRESEN) affilié au ministère de l'Energie, des Mines et du Développement Durable.
- Le développement par plusieurs membres séniors et juniors du projet *RafriBat* d'un prototype de bâtiment énergétiquement efficace qui a été construit dans la plateforme GSBP, dans le cadre de la compétition Solar Decathlon Africa SDA2019 qui a eu lieu en septembre 2019. Ce prototype a été conçu et fabriqué en partenariat avec d'autres étudiants et professeurs de l'université Cadi Ayyad (FSTM, département de génie civil) et de l'université de Colorado aux USA (*Colorado School of Mines*) ainsi que les étudiants de l'Ecole Nationale d'Architecture de Marrakech.

Remerciements

L'équipe du projet RafriBat est reconnaissante à plusieurs personnes qui ont mis à sa disposition leurs bâtiments pour réaliser les études de cas. Sont ainsi remerciés:

- *Pr Amin BENNOUNA, membre de l'équipe RafriBat et gérant du bureau d'étude ISTICHAR, partenaire du projet. Il a mis à la disposition de l'équipe sa propre maison, dite AMYS, qui a été un laboratoire vivant durant toute la période de réalisation des travaux de recherche du projet. Cette maison a fait l'objet de la thèse de Doctorat de Fatima-Ezzahra LAFQIR et Mohamed KHABBAZ. Les mesures réalisées par ce dernier dans l'échangeur de chaleur air-sol, installé à AMYS, ainsi que les campagnes de mesures supplémentaires menées durant plusieurs années dans la maison ont permis à Hassan MAHACH de mener à bien ses travaux de recherche sur le geocooling. Par ailleurs, Naima SAKAMI a bénéficié de la mise à sa disposition, pour les fins d'une compagne de mesures de validation, de la partie habitable semi-enterrée (sous-sol) d'une autre maison, dite AMR BENSLAMA, propriété de Amin BENNOUNA.*
- *Pr Abderrahim BRAKEZ, membre de l'équipe RafriBat et directeur de thèse de Issam SOBHY, a mis à disposition de ce dernier sa propre maison, dite NASSIM. Ce qui lui a permis de réaliser ses travaux de recherche sur les performances thermo-aérauliques de maisons type 3M (Maison Marocaine Moderne).*
- *Elie MOUYAL, architecte et partenaire du projet, qui a mis à la disposition de Hicham MASTOURI la maison, dite ZITOUNE, du complexe VILLAS CHERCHEURS, sis au campus de UM6P (Université Mohamed VI Polytechnique) à Benguerir, dont il était maitre d'ouvrage.*
- *M. MASSAOUDI, qui a mis amicalement à disposition de M. Drissi son appartement. Ce dernier qui a fait l'objet de la thèse de Doctorat de El-Hadi Drissi Lamrhari.*

Annexe 1: Liste des publications archivales du projet (Articles indexés)

1. Issam SOBHY , Abderrahim BRAKEZ and Brahim BENHAMOU, "*Effect of retrofit scenarios on energy performance and indoor thermal comfort of a typical single family house in different climates of Morocco*", Journal of Engineering for Sustainable Buildings & Cities - ASME accepted April **2021**, https://doi.org/10.1115/1.4051051
2. Hassan MAHACH, Brahim BENHAMOU, *Extensive Parametric study of cooling performance of an Earth to Air Heat Exchanger in hot semi-arid climate*, Journal of Thermal Science Engineering and Application, Transactions of the ASME, 13 (**2021**) 031006-1-12, DOI: 10.https://doi.org/10.1115/1.4047945/1.4047945
3. Hassan MAHACH, Amin BENNOUNA, Brahim BENHAMOU, Attempt predicting slab-on-ground temperature for bioclimatic buildings, Journal of Thermal Science Engineering and Application, Transactions of the ASME, **2021**, 13 (2): 021007, https://doi.org/10.1115/1.4047376 *Paper No: TSEA-19-1657*
4. Hassan MAHACH, Brahim BENHAMOU, *Analysis Study for the Design of an Earth-to-Air Heat Exchanger for low energy air cooling and heating of a school in desert climate*, AIP Conference Proceedings, vol. 2345, issue 1, 020045:1-9 (2021); https://doi.org/10.1063/5.0049406
5. Fatima Ezzahra LAFQIR, Issam SOBHY, Brahim BENHAMOU, Amin BENNOUNA, Karim LIMAM, *Thermal performance of passive techniques integrated to a house and the concept of Passive House in the six climates of*

Morocco, Science and Technology for the Buit Environment **2020**, vol. 27, issue 10, pp. 1490-1508 *DOI: https://doi.org/10.1080/23744731.2020.1805983*

6. N. SAKAMI, L. BOUKHATTEM, H. HAMDI, B. BENHAMOU, Soil thermal inertia effect on shallow basement energy performance in different morocco climates, Journal of Thermal Science Engineering and Application, Transactions of the ASME, **2020**, 12(4): 041001, https://doi.org/10.1115/1.4045223 *Paper No: TSEA-19-1287*
7. Mohammed OUIKHALFAN, Ahmet SARI, Alper BICER, Hassan CHEHOUANI, Gökhan HEKIMO LU, Brahim BENHAMOU, Preparation and characterization of nano-enhanced myristic acid using metal oxide nanoparticles for thermal energy storage**,** International Journal of Energy Research, 43 (**2019**) 8592–8607 *http://dx.doi.org/10.1002/er.4856*
8. Naima Sakami, Lahcen Boukhattem, Hassan Hamdi, Brahim Benhamou, *Comparison of shallow basement thermal performance for different regions of Morocco using a three-dimensional heat transfer analysis*, Cogent Engineering, 2019, 6(1), 1602926. *http://dx.doi.org/10.1080/23311916.2019.1602926*
9. Mohammed OUIKHALFAN, Abdelouhab LABIHI, Mohamed BELAQZIZ, Hassan CHEHOUANI, Brahim BENHAMOU, Ahmet SARI and Ahmed BELFKIRA, *Stability and thermal conductivity enhancement of aqueous nanofluid based on surfactant-modified TiO2*, Journal of Dispersion Science and Technology, (**2020**) 41:3, 374-382 *https://doi.org/10.1080/01932691.2019.1578665*
10. El Hadi Drissi Lamrhari and Brahim Benhamou, *Thermal Behavior and Energy Saving Analysis of a Flat with Different Energy Efficiency Measures in Six Climates*, Building Simulation, 11 (**2018**) 1123–1144 *https://doi.org/10.1007/s12273-018-0467-3*
11. Salah KACHKOUCH, Fatima AIT-NOUH, Brahim BENHAMOU, Karim LIMAM, *Experimental assessment of thermal performance of three passive cooling techniques for roofs in a hot climate,* Energy and Buildings, 164 (**2018**) 153–164. *https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.01.008*
12. Abdelouhab LABIHI, Hassan CHEHOUANI, Faiçal AITLAHBIB, Brahim BENHAMOU, Mohammed OUIKHALFAN, Cristiana VERONA CROITORU, Ilinca NASTASE, *Effect of phase change material wall on natural convection heat transfer inside an air filled enclosure*, Applied Thermal Engineering, 126 (2017) 305-314 *https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.07.112*
13. Lahcen Boukhattem, Mustapha Boumhaout, Hassan Hamdi, Brahim Benhamou and Fatima Ait Nouh, "*Humidity effect on bio-composite building material: Mortar reinforced with date palm fibers mesh*", Construction and Buildings Materials, 148 (**2017**) 811–823, *http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.020*
14. Hicham Mastouri, Brahim Benhamou, Hassan Hamdi, Elie Mouyal, *T"hermal Performance Assessment of Passive Techniques Integrated into a Residential Building in Semi-Arid Climate"*, Energy and Buildings, 143:1–16 (2017). (DOI: *http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.022*)
15. Issam SOBHY, Abderrahim BRAKEZ and Brahim BENHAMOU, "*Energy performance and economic study of a solar floor heating system for a Hammam"*, Energy and Buildings, 141:247–261 (2017). DOI: *http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.044*
16. Issam Sobhy, Abderrahim Brakez and Brahim Benhamou, "*Analysis for thermal behavior and energy savings of a semi-detached house with different insulation strategies in hot semi-arid climate", Journal of Green Building, 12:78-106 (2017)*. DOI: *http://dx.doi.org/10.3992/1552-6100.12.1.78*
17. Mustapha Boumhaout, Lahcen Boukhattem, Hassan Hamdi, Brahim Benhamou and Fatima Ait Nouh, "*Thermomechanical characterization of a bio-composite building material: Mortar reinforced with date palm fibers mesh*", Construction and Buildings Materials, 135:241–250 (2017) DOI: *http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.217*
18. M. NAOUM and M. EL ALAMI, Mixed convection flows in a U-shaped channel immersed in an isothermal medium: Application to passive air conditioning, Fluid Dynamics and Material Processing, vol.12, no.2, pp.56-68, 2016
19. Mohamed Khabbaz, Brahim Benhamou, Karim Limam, Pierre Hollmuller, Hassan Hamdi, Amin Bennouna, "*Experimental and Numerical Study of an Earth-to-Air Heat Exchanger for Air Cooling in a Residential Building in Hot Semi-Arid Climate*", Energy and Buildings, 125:109-121 (2016) DOI: *http://dx.doi.org/110.1016/j.enbuild.2016.04.071*

20. Naima Sakami, Lahcen Boukhattem, Hassan Hamdi, "*Soil Inertia and Shallow Basement Envelope Impact on Cellar Internal Temperature*", Journal of Renewable Energy and Sustainable Development (RESD), vol. 2, Issue 1, June 2016 (DOI: http://dx.doi.org/10.21622/RESD.2016.02.1.030)

21. H. Mastouri, B. Benhamou, H. Hamdi, "*Pebbles Bed Thermal Storage for Heating and Cooling of Buildings*", Energy Procedia, 42, 761-764, 2013 DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2013.11.079

22. B. Benhamou, Amin Bennouna, "*Energy Performances of a Passive Building in Marrakech: Parametric Study*" Energy Procedia, 42,:624 - 632 (2013) DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2013.11.064

Annexe 2: Liste des thèses de Doctorat réalisées

1. Mohamed KHABBAZ, *Contribution a l'étude d'un échangeur de chaleur air-sol (puits canadien) pour le rafraîchissement de l'air sous le climat chaud et semi-aride de Marrakech,* Faculté des Sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad, Marrakech, soutenue le 17 décembre 2016

2. Issam SOBHY, *Modélisation thermo-aéraulique et monitoring d'un bâtiment résidentiel sous un climat semi-aride et évaluation de ses performances énergétiques avant et après rénovation*, Faculté des Sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad, Marrakech, soutenue le 1 juillet 2017

3. Meryem NAOUM, *Contribution a l'étude numérique des transferts thermiques dans un canal ouvert en forme de U: application au rafraichissement passif de l'air*, Faculté des Sciences Ain-Chock, Université Hassan II - Casablanca, soutenue le 17 Mars 2018

4. Mustapha BOUMHAOUT, *Elaboration et caractérisation thermique, mécanique et hydrique des matériaux de construction composites a base de mortier et de fibres de palmier dattier*, Faculté des Sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad, Marrakech, soutenue le 7 mai 2018

5. Hicham MASTOURI, *Energy performance of a modern house built with local materials and integrating passive systems: dynamic simulation and monitoring*, Faculté des Sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad, Marrakech, soutenue le 4 juillet 2018

6. Salah KACHKOUCH, *Evaluation expérimentale et par simulation des performances thermiques de techniques de toiture pour le rafraichissement des bâtiments en climat chaud*, Faculté des Sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad, Marrakech, soutenue le 14 Décembre 2018

7. El Hadi DRISSI LAMGHARI, *Comportement thermique et économie d'énergie dans un appartement avec différentes mesures d'efficacité énergétique dans les six zones climatiques du Maroc*, Faculté des Sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad, Marrakech, soutenue le 29 Décembre 2018

8. Mohamed OUIKHALFAN, *Experimental investigation on Phase Change Materials for Energy Efficiency: nano-enhancement and building integration*, Faculté des Sciences et Techniques Guéliz, Marrakech, soutenue le 8 Juillet 2020

9. Abdelouhab LABIHI, *Numerical and experimental study of heat transfer between air and a phase change material wall: Application for buildings,* Faculté des Sciences et Techniques Guéliz, Marrakech, soutenue le 20 Juillet 2020

10. Fatima Ezzahra LAFQIR, *Étude du comportement thermo-aéraulique et des performances énergétiques d'une maison passive dans les six climats du Maroc,* Faculté des Sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad, Marrakech, soutenue le 29 mai 2021

11. Hassan MAHACH, *Etude numérique et expérimentale du rafraichissement de l'air dans les bâtiments par geocooling en climat chaud et semi-aride,* Faculté des Sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad, Marrakech, soutenue le 25 juin 2021

12. Naima SAKAMI, *Simulation numérique des transferts de chaleur entre un bâtiment semi-enterré et le sol dans différents climats du Maroc,* Faculté des Sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad, Marrakech, soutenue le 30 octobre 2021

PHOTOS ILLUSTRATIVES

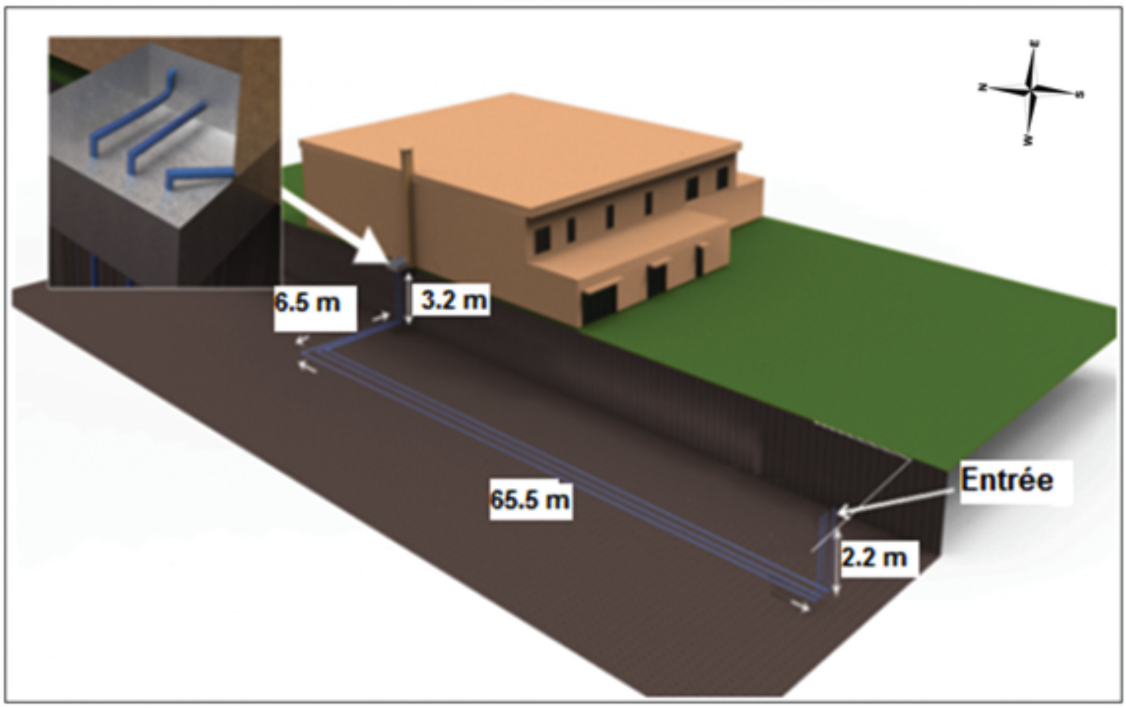
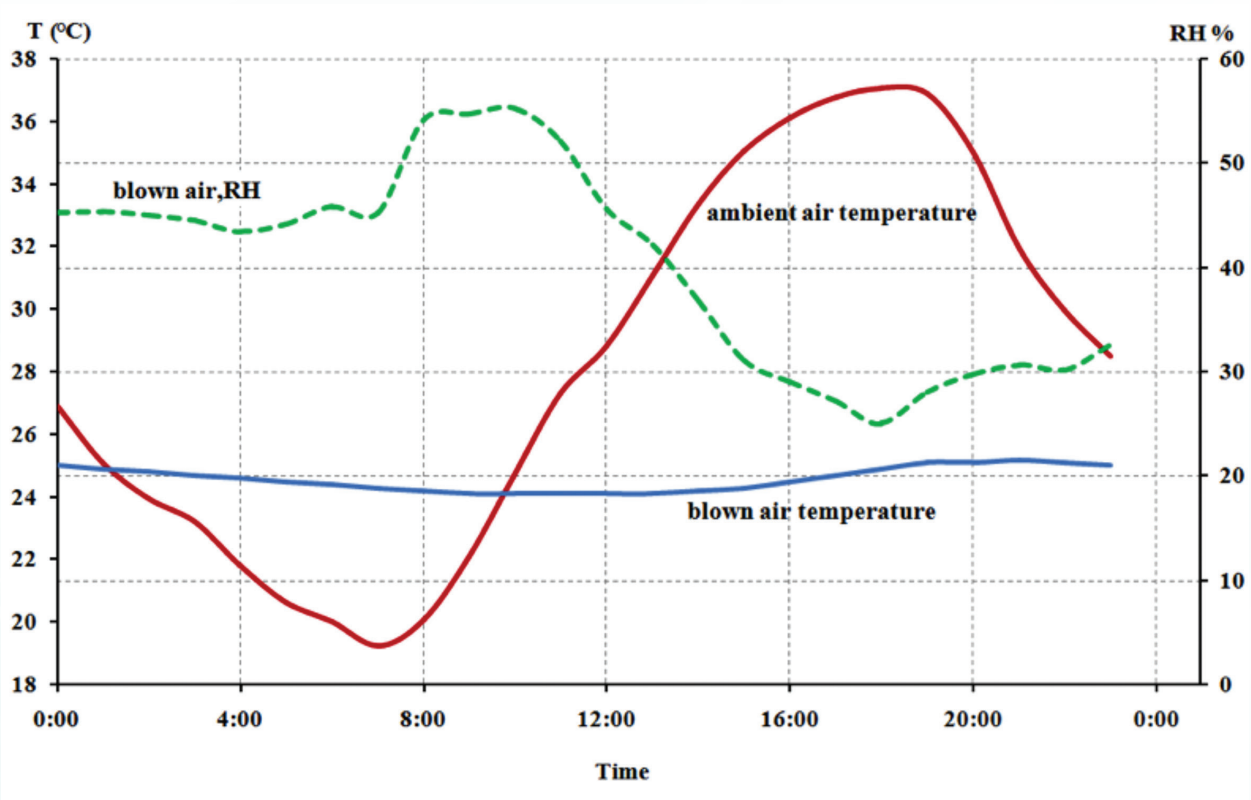


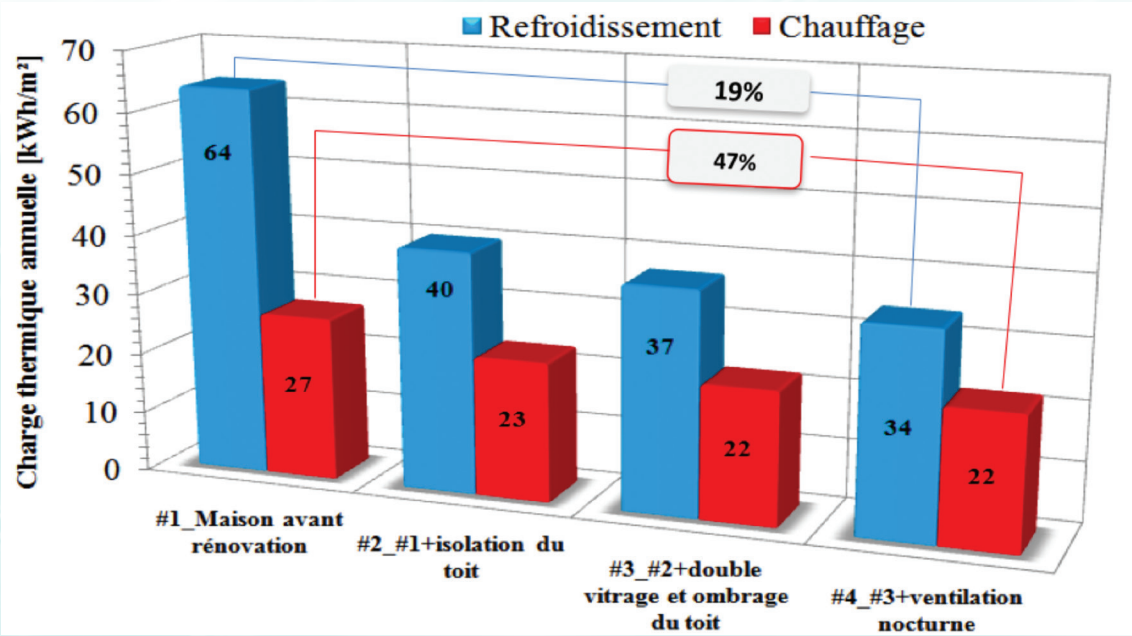
Illustration schématique de l'échangeur air-sol AMYS, *pris comme cas d'étude*
[Khabbaz, Thèse de Doctorat, UCA Marrakech, 2016]

Prototype de classe en matériaux locaux - Université Cadi Ayyad pris comme cas d'étude
[*Kachkouch, Thèse de Doctorat, UCA Marrakech, Décembre 2018*]

Principaux résultats



Mesure expérimentale de la température et de l'humidité relative de l'air au soufflage à travers l'échangeur air-sol de la maison AMYS – Journée du 15 juillet 2013. Débit d'air 312m³/h [Khabbaz, Thèse de Doctorat, UCA Marrakech 2016]



Charges thermiques annuelles de la maison NASSIM avant et après intégration de divers systèmes passifs [Sobhy, Thèse de Doctorat, UCA Marrakech, Juillet 2017]

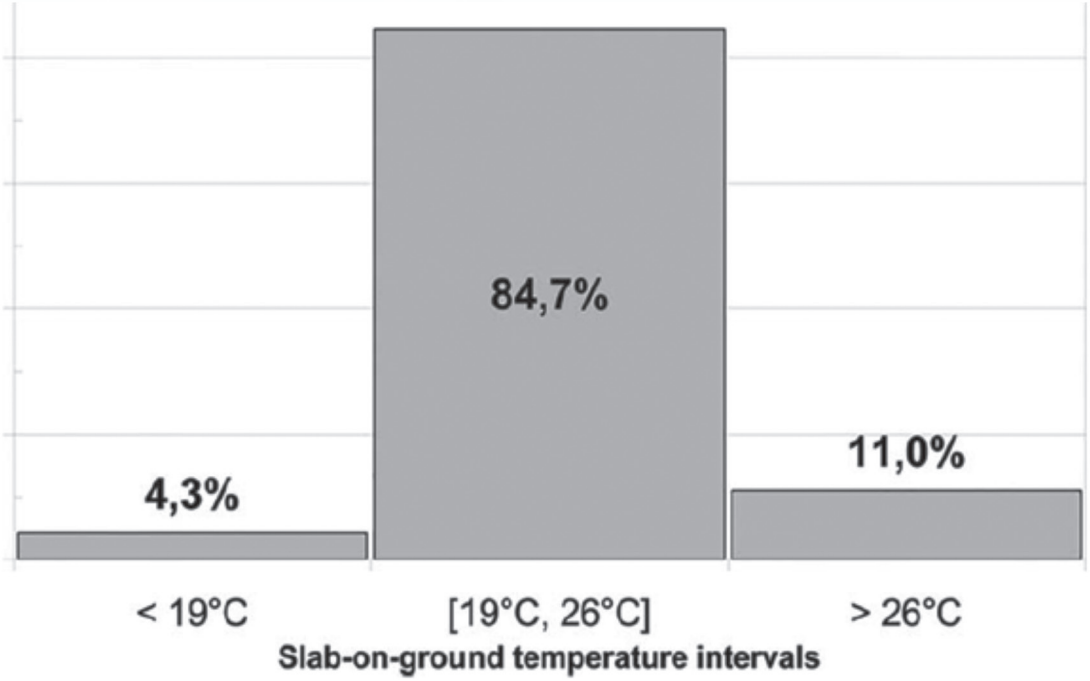


Fig. 11 Frequency diagram of the recorded slab-on-ground temperatures

Fréquence de la température de surface du plancher sur terre-plein mesurées expérimentalement durant plus de deux années de suivi continu à la maison AMYS. La dalle de ce plancher n'est pas isolée thermiquement comme l'exige le RTCM [Mahach, Thèse de Doctorat, UCA Marrakech, Juin 2021]

FICHE SYNTHÉTIQUE DU PROJET RafriBat

SOLAR AND PASSIVE SYSTEMS FOR AIR REFRESCHEMENT IN BUILDINGS

SYSTÈMES SOLAIRES PASSIFS DE RAFRAICHISSEMENT DES BATIMENTS

Funded by: Hassan II Academy of Sciences and Technology in the frame of PARS 2010 Program.

(*Subvention:* ***3M MAD)***

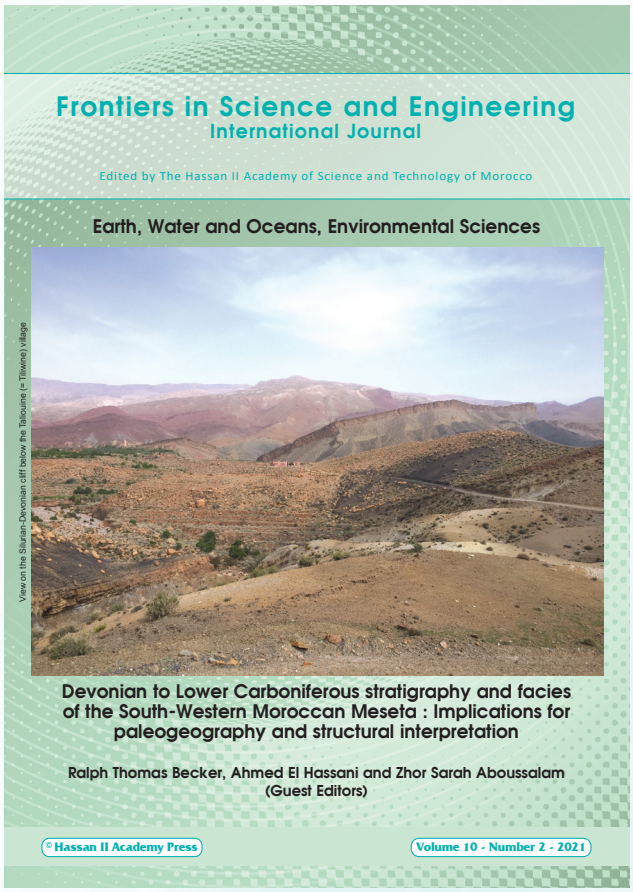
Partners:
- Energy Process Team, LMFE, FS Semlalia, UCA Marrakech, *Project Leader*
- Lab. EnR2E, CNEREE, UCA Marrakech
- Lab LP2M2E, FST Gueliz, UCA Marrakech
- '*Thermique*' Group, FSAC UH2 Casablanca
- ISTICHAR Engineering Office, Marrakech
- ELIE MOUYAL Architecture Office, Marrakech
- GMTA, private company for thermal and solar installations, Marrakech

Contact: Prof. Brahim Benhamou, Université Cadi Ayyad Marrakech
Project Leader, BBenhamou@uca.ac.ma

Publications
Hassan II Academy Press

Devonian to lower carboniferous stratigraphy and facies of the South-Western Moroccan Meseta: Implications for paleogeography and structural interpretation

Frontiers in Science and Engineering, Vol. 10, N°2 et Addendum



Contents

5 **Foreword**

7 **Contributors**

8 **Acknowledgements**

9 **Introduction**
Ahmed EL HASSANI & Ralph Thomas BECKER

13 **Devonian of the Benahmed region, western Moroccan Meseta**
Ralph Thomas BECKER, Zhor Sarah ABOUSSALAM, Ahmed EL HASSANI, Lahssen BAIDDER, Dieter WEYER & Ulrich JANSEN

53 **Upper Frasnian ammonoids and gastropods from Boudouda (Benahmed region, Moroccan Meseta)**
Till SÖTE & Ralph Thomas BECKER

81 **Viséan transgression and reworking at Boudouda (NW Benahmed, western Moroccan Meseta)**
Ralph Thomas BECKER, Pedro CÓZAR, Zhor Sarah ABOUSSALAM, Ahmed EL HASSANI, Lahssen BAIDDER & Sven HARTENFELS

109 **Devonian of the Mechra Ben Abbou region (Rehamna) – new data on the reef succession, microfacies, stratigraphy, and palaeogeography**
Stephan EICHHOLT, Ralph Thomas BECKER, Zhor Sarah ABOUSSALAM, Ahmed EL HASSANI, Andreas MAY, Ulrich JANSEN, Andrej ERNST & Fouad EL KAMEL

153 **The Devonian and Viséan transgression in the Eastern Jebilet (Moroccan Meseta) – review and new data**
Ralph Thomas BECKER, Zhor Sarah ABOUSSALAM, Ahmed EL HASSANI, Pedro CÓZAR, Hans-Georg HERBIG & Andrej ERNST

203 **The Devonian of Jebel Ardouz (Mzoudia region, SW Moroccan Meseta) – new data on stratigraphy, facies, and palaeogeography**
Zhor Sarah ABOUSSALAM, Ralph Thomas BECKER, Stephan EICHHOLT, Ahmed EL HASSANI, Ali BOUARI, Bernard MOTTEQUIN & Lahssen BAIDDER

229 **Devonian and the Carboniferous transgression in the Skoura region, Sub-Meseta Zone, Morocco**
Ralph Thomas BECKER, Zhor Sarah ABOUSSALAM, Ahmed EL HASSANI, Lahssen BAIDDER, Heiko HÜNEKE, Oliver MAYER, Pedro CÓZAR, Stephan HELLING, Konrad SEYFFERT & Andreas MAY

Hassan II Academy of Science and Technology — Frontiers in Science and Engineering - Vol. 10 - n° 2 - 2021 | 3

Addendum

This supplement is the continuation of the chapter:
Devonian of the Benahmed Region *(page 42), before the references.*

Erratum du Bulletin N° 28 - page 70

Lire :

2. Politique industrielle et démographie des entreprises au Maroc : Le cas des industries de transformation. **Anass Mahfoudi** - Prix AMSE de Thèse 2015-2016. Presses économiques du Maroc

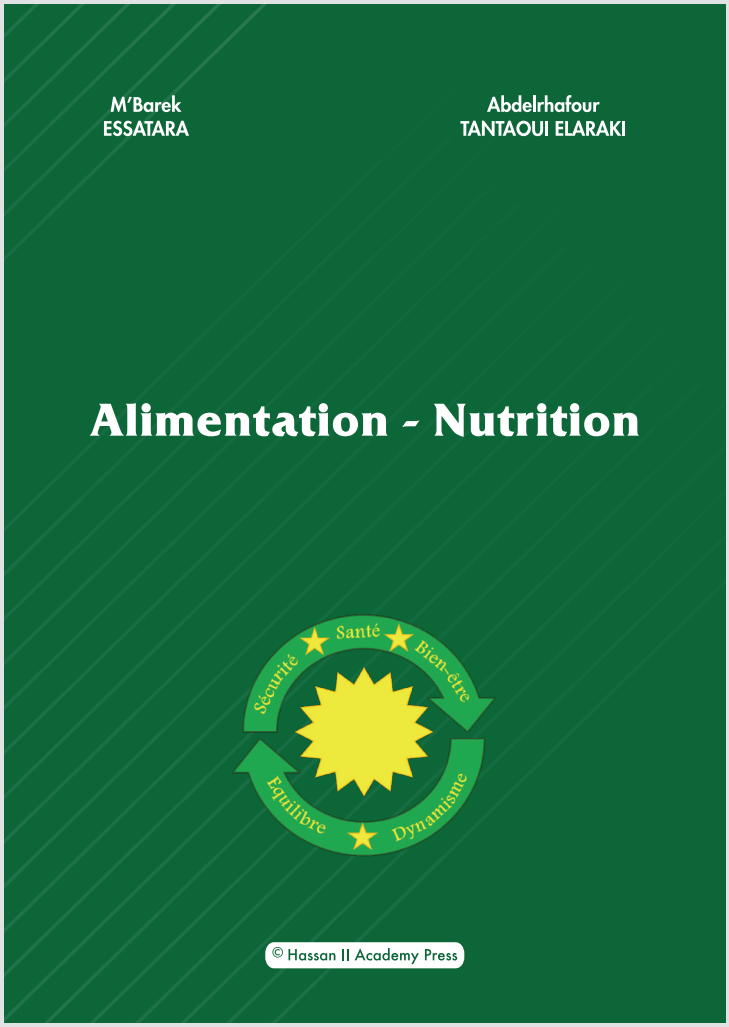
au lieu de :

2. Politique industrielle et démographie des entreprises au Maroc : Le cas des industries de transformation. **Pr. N. El Aoufi**

Alimentation - Nutrition

M'Barek ESSATARA & Abdelrhafour TANTAOUI ELARAKI

Anciens professeurs à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II



Extrait de l'avant-propos

Pourquoi ce livre?

De nos jours, serait-on tenté de dire, au moment où l'information est à portée de clics, quel intérêt de s'investir dans un projet aussi prenant en temps et en efforts?

Oui, l'information est disponible, mais quelle information? Les média et les réseaux sociaux en tous genres offrent un espace illimité où tout le monde peut s'exprimer. Et voilà que tout le monde s'improvise nutritionniste ! Et l'on entend de tout et de rien, à longueur de journée. Le pauvre citoyen qui essaie de tirer profit de ces «conseils» se trouve complètement déboussolé, désemparé. En effet, le même support médiatique peut vous dire une chose aujourd'hui et son contraire le lendemain. Parfois, le même «expert» se contredit en l'espace de quelques secondes. La polémique créée ces dernières années autour du lait et des produits laitiers est un excellent exemple de cette véritable cacophonie.

Quand on s'alimente, c'est pour satisfaire des besoins fondamentaux, certes. Mais manger et boire doivent aussi rester un plaisir. Or, bien souvent, ces gens-là sacrifient allégrement l'aspect hédonique (le plaisir) de l'alimentation au profit de la recherche acharnée d'un effet thérapeutique. Entre celui qui préconise de manger la grenade tout entière avec son écorce pour mieux bénéficier de ses tannins antioxydants, celui qui conseille d'avaler le citron avec sa peau et de croquer ses pépins amers parce que riches en flavonoïdes et celle qui affirme qu'il faut absolument boire trois litres d'eau par jour, en insistant bien que le café et le thé ne sont pas une source alimentaire d'eau, la science s'est perdue pour laisser la place à du populisme scientifique.

La nutrition est une science, faut-il le rappeler? Et elle a ses principes, qui évoluent d'ailleurs chaque jour du fait des progrès scientifiques et technologiques. Notre propos dans cet ouvrage est tout simplement de rappeler ces principes, le but ultime étant d'éveiller le consommateur.

Cet ouvrage se veut essentiellement un outil de travail pour les enseignants-chercheurs et les étudiants dans divers domaines de spécialité. Cependant, les informations y sont généralement présentées de manière assez simplifiée pour être également à la portée du lecteur non initié.

Acquisitions de la Bibliothèque de l'Académie

Acquisitions de la Bibliothèque de l'Académie

Titre : **Lettres de M. Descartes, qui traitent de plusieurs belles questions concernant la morale, la physique, la médecine et les mathématiques... en 6 volumes**

Auteur : René Descartes (1596-1650)

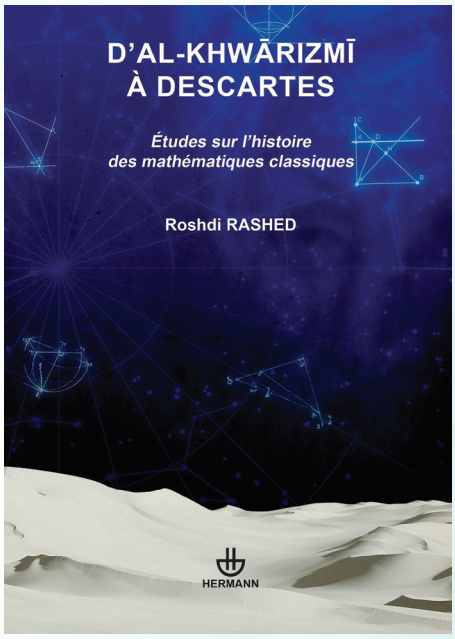
Editeur/ Année Compagnie des libraires / 1724-1725 (Edition originale)

Résumé : Lettres dans lesquelles Descartes répond à plusieurs difficultés qui lui ont été proposées sur la Dioptrique; la Géométrie et sur plusieurs autres sujets, Où l'on a joint le latin de plusieurs lettres qui n'avaient été imprimées qu'en français, avec une traduction française de celles qui n'avaient paru jusqu'à présent qu'en latin.

Titre : **D'al-Khwarizmi à Descartes : Études sur l'histoire des mathématiques classiques**

Auteur : Roshdi Rashed

Editeur/ Année Hermann / 2011

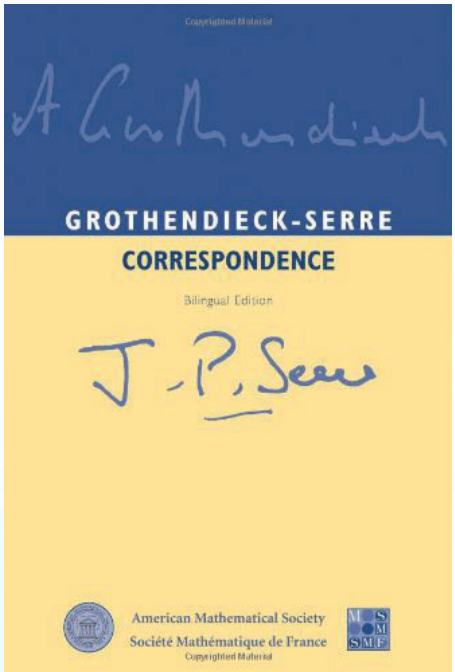


Résumé : Qu'appelle-t-on «mathématiques classiques», «sciences classiques» ? On a coutume de désigner par ces expressions les disciplines qui se sont développées au XVIème et au XVIIème siècle, et qui seraient les éléments constitutifs de la «raison classique». Mais l'historiographie des sciences mathématiques et de la pensée scientifique connaît, depuis le milieu du siècle dernier, des transformations majeures. Une meilleure connaissance de ces sciences en arabe et aussi en latin dénonce en effet plus que jamais le cadre étriqué et simpliste où se trouvaient enfermées les mathématiques et la raison classiques. Les études qui composent ce livre sont destinées à rendre ces sciences mathématiques à l'horizon qui est le leur, en brisant les frontières chronologiques héritées de l'histoire politique : «ancien», «médiéval», «moderne». On s'efforce de remonter au commencement des différentes sciences mathématiques (mathématiques, astronomie, optique et philosophie des mathématiques) en cherchant à identifier les concepts et les pratiques que les mathématiciens ont mis en œuvre, pour ensuite appréhender certains de leurs développements et de leurs rectifications.

Titre : **Grothendieck – Serre. Correspondance** (Français – Anglais)

Auteurs : Alexandre Grothendiec & Jean-Pierre Serre

Editeur/ Année American Mathematical Society & Société Mathématique de France/ 2004

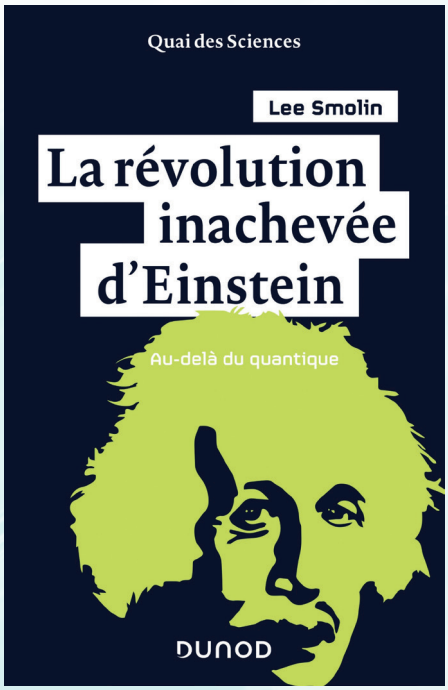


Résumé : The book is a bilingual (French and English) edition of the mathematical correspondence between A. Grothendieck and J-P. Serre. The original French text of 84 letters is supplemented here by the English translation, with French text printed on the left-hand pages and the corresponding English text printed on the right-hand pages. The book also includes several facsimiles of original letters. The letters presented in the book were mainly written between 1955 and 1965. During this period, algebraic geometry went through a remarkable transformation, and Grothendieck and Serre were among central figures in this process. The reader can follow the creation of some of the most important notions of modern mathematics, like sheaf cohomology, schemes, Riemann-Roch type theorems, algebraic fundamental group, motives. The letters also reflect the mathematical and political atmosphere of this period (Bourbaki, Paris, Harvard, Princeton, war in Algeria, etc.). Also included are a few letters written between 1984 and 1987. The letters are supplemented by J-P. Serre's notes, which give explanations, corrections, and references further results. The book should be useful to specialists in algebraic geometry, in history of mathematics, and to all mathematicians who want to understand how great mathematics is created.

Titre : **La révolution inachevée d'Einstein - Au-delà du quantique**

Auteur : Lee Smolin

Editeur/ Année Dunod / 2019

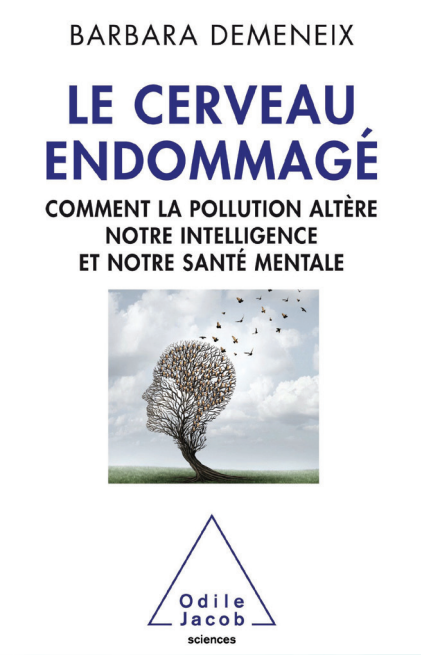


Résumé : Une nouvelle vision audacieuse de la théorie quantique par l'un des plus grands esprits de la physique contemporaine La physique quantique est l'enfant chéri de la science moderne. Elle nous permet de comprendre la matière, les ondes, les forces de la Nature, jusqu'au comportement des matériaux. Mais, source de disputes entre ses découvreurs et d'idées souvent fantaisistes, elle a aussi les défauts de l'enfance. Qu'il s'agisse d'un chat mort-vivant ou d'un monde qui n'existerait pas indépendamment de nos mesures, la théorie quantique défie notre entendement. Mêlant histoire des découvertes et réflexions philosophiques, Lee Smolin nous emmène dans un voyage à la rencontre du monde quantique et de ses zones d'ombres, que certaines théories alternatives pourraient éclairer.

Titre : **Le Cerveau endommagé- Comment la pollution altère notre intelligence et notre santé mentale**

Auteur : Barbara Demeneix

Editeur/ Année Odile Jacob / 2016

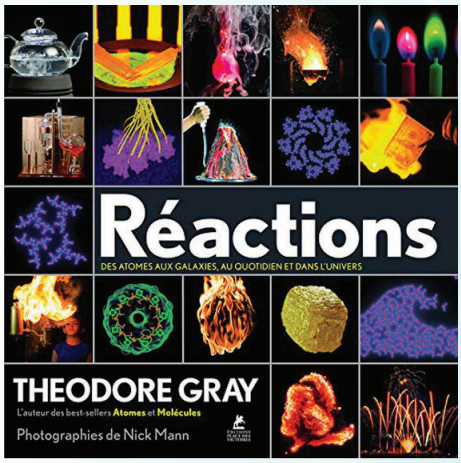


Résumé : Pesticides, plastiques, résidus de médicaments et beaucoup d'autres choses encore : chaque jour, des centaines de milliers de produits chimiques sont rejetés dans l'environnement. Ces perturbateurs endocriniens affectent le développement du cerveau, le métabolisme, la reproduction, et ont une incidence sur les cancers. Des études scientifiques récentes montrent que le nombre d'enfants atteints de dérèglements hormonaux, de désordres de type autistique ou de troubles de l'attention avec hyperactivité est en augmentation constante. Barbara Demeneix parvient même à une conclusion inquiétante : les capacités intellectuelles des générations futures seront sérieusement compromises. Quelles solutions pouvons-nous mettre en œuvre pour protéger les enfants, mais aussi les adultes, à titre individuel et surtout collectif ? Si nous refusons d'agir, les générations futures pourraient bien se retrouver impuissantes face à ces problèmes de santé publique. Il leur manquera l'intelligence – à tout jamais.

Titre : **Réactions des atomes aux galaxies, au quotidien et dans l'univers**

Auteur : Theodore Gray

Editeur/ Année Editions Place des Victoires / 2017



Résumé : Qu'est-ce qu'une réaction chimique ? Quelle relation entretient-elle avec la lumière ? Connaissez-vous la plus lente, la plus rapide ? Et les concepts qui la régissent comme l'énergie, l'entropie et le temps ? Combustion, photosynthèse, oxydation, fermentation... Comprenez les mécanismes visibles et invisibles qui sont essentiels à notre existence même. Theodore Gray partage à nouveau son éternelle sagacité, son humour de savant fou, ses prouesses photographiques et autres outils ingénieux afin de nous faire comprendre comment les éléments interagissent pour former, animer ou détruire toutes les choses qui composent notre quotidien et l'Univers, depuis le sel de table à la poussière d'étoiles, en passant par l'oxygène ou encore la panoplie de couleurs et d'odeurs qui nous entourent. Après Atomes et Molécules, cet opus détonant clôt brillamment la passionnante trilogie visuelle qui nous a permis d'explorer le vaste monde de la chimie. À coup sûr, vous regarderez différemment – si cela vous est déjà arrivé ! – l'herbe qui pousse, la peinture qui sèche ou l'eau qui bout...

Titre : **Turing à la plage - L'intelligence artificielle dans un transat**

Auteurs : Rachid Guerraoui, Lê Nguyên Hoang

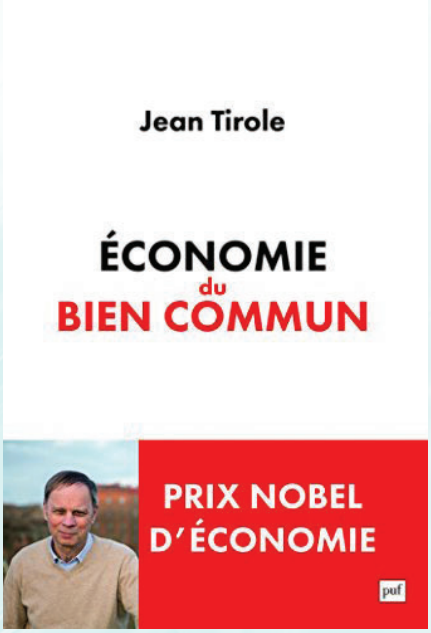
Editeur/ Année Dunod / 2020

Résumé : Les humains seront-ils un jour dominés par des algorithmes? Installez-vous confortablement dans un transat, et laissez-vous guider sur le chemin menant des premières idées du génie anglais Alan Turing aux capacités affolantes des ordinateurs quantiques et aux promesses de l'Intelligence Artificielle. Les progrès sont immenses mais les obstacles encore nombreux. Au moment de quitter votre transat, vous ne regarderez plus votre ordinateur de la même manière...

Titre : **Economie du bien commun**

Auteur : Jean Tirole

Editeur/ Année Presses Universitaires de France / 2016



Résumé : Avec ce premier livre en français destiné à un large public, le prix Nobel d'économie 2014 nous invite à partager sa passion pour cette discipline. Il défend une certaine vision de l'économie, science qui croise la théorie et les faits au service du bien commun, et de l'économiste, chercheur et homme de terrain. C'est dire que le lecteur pénètre dans l'atelier d'un économiste et voyage à travers les sujets affectant notre quotidien : économie numérique, innovation, chômage, changement climatique, Europe, État, finance, marché... En dressant un panorama des grandes problématiques de l'économie d'aujourd'hui, Jean Tirole nous fait entrer au cœur des théories dont il est le père.

Titre : **big-bang - Comprendre l'univers depuis ici et maintenant**

Auteur : Jean-Philippe Uzan

Editeur/ Année Flammarion / 2018

Résumé : L'univers aurait 13,7 milliards d'années, lit-on souvent. Mais que signifie une telle affirmation? Implique-t-elle que l'univers a une origine? Comment penser ce big-bang primordial? Dans cette synthèse magistrale, Jean-Philippe Uzan nous invite à comprendre la construction du modèle du big-bang, cette théorie qui vise à décrire l'univers et son histoire. Il détaille les hypothèses théoriques et les observations sur lesquelles ce modèle repose. Au fil des pages se dessine un extraordinaire échafaudage qui, en un siècle, a bouleversé notre représentation du cosmos comme de l'espace et du temps. Or la cosmologie se trouve à un moment charnière : alors que les satellites et les télescopes géants se multiplient, que les fenêtres d'observation s'ouvrent vertigineusement - ondes gravitationnelles, neutrinos -, les médias font leur une sur des scénarios pour le moins spéculatifs. Il devient ainsi urgent de clarifier les questions auxquelles la science prétend répondre, celles qui ne sont pas encore tranchées - la matière noire, l'inflation, etc. - mais aussi celles qui restent en dehors de son champ explicatif. Voilà l'ambition de cet ouvrage qui, tout en célébrant l'une des plus belles théories jamais élaborées par l'esprit humain, démêle finement mythe et savoir.

Titre : **Génie énergétique - Du dimensionnement des composants au pilotage des systèmes**

Auteur : Michel Feidt

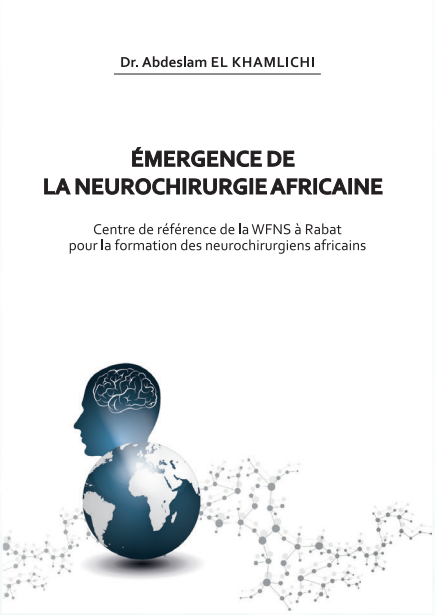
Editeur/ Année Dunod / 2014

Résumé : Les questions liées à l'efficacité et à la transition énergétiques sont un des enjeux majeurs du XXIe siècle, en relation avec les aspects environnementaux et économiques. Cet ouvrage couvre l'ensemble des thèmes liés au génie énergétique : tous les outils fondamentaux sont détaillés et complétés par des applications concrètes. Il offre aux techniciens, ingénieurs, ainsi qu'aux chercheurs et décideurs des domaines de l'énergie, un panorama complet de l'existant et des perspectives de développement du triptyque énergie – environnement – économie.

Titre : **Emergence de la neurochirurgie africaine**

Auteur : Dr. Abdeslam El Khamlichi

Editeur/ Année 2019

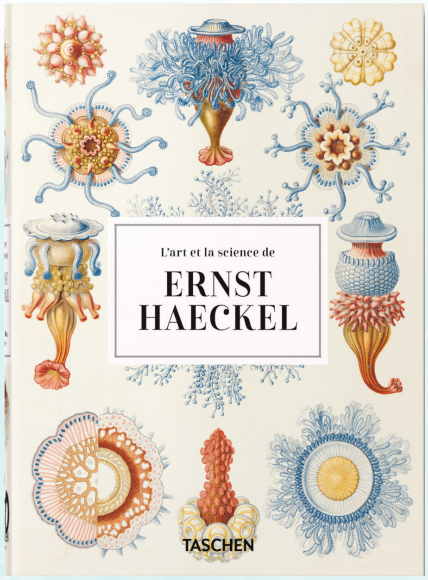


Résumé : Le contexte historique particulier de l'Afrique, explique les problèmes de santé que vit actuellement ce continent, inhérents, entre autres, au manque de médecins, bien illustré par la pénurie des neurochirurgiens. Si la neurochirurgie moderne a été introduite en Afrique par les chirurgiens européens de l'époque coloniale, l'absence d'un système de formation national dans la plupart des pays africains, après leur indépendance, aboutira, à la fin du siècle dernier (1998), à un ratio moyen d'un neurochirurgien pour dix millions d'habitants, pour l'ensemble de l'Afrique Subsaharienne (46 pays), alors que le ratio recommandé par l'OMS est de 1 neurochirurgien pour 80 à 100.000 habitants. Suite à la constatation de ces chiffres alarmants, trois actions ont été menées au cours de ces deux dernières décennies, grâce à une collaboration exemplaire entre la World Federation of Neurosurgical Societies (WFNS), les neurochirurgiens africains et les institutions hospitalo-universitaires marocaines. Ces actions ont permis l'émergence de la neurochirurgie africaine et sa préparation pour une stratégie de développement à l'horizon 2030. Le lecteur trouvera dans ce livre, le détail de ces actions et un témoignage sur l'évolution récente de la neurochirurgie africaine.

Titre : **The art and science of Ernst Haeckel**

Auteurs : Rainer Willmann ; Julia Voss

Editeur/ Année Taschen / 2017



Résumé : Découvrez Ernst Haeckel, artiste et biologiste du XIXe siècle qui sut voir la beauté dans la plus improbable créature. Cette anthologie présente 450 planches parmi ses plus importantes publications, dont le majestueux Kunstformen der Natur, ainsi que ses larges recueils sur la vie marine. À l'heure où la biodiversité est toujours plus menacée, ces images extraordinaires constituent un chef-d'œuvre scientifique, artistique et environnemental.

Titre : **Le projet majeur africain de la Grande Muraille Verte**
Concepts et mise en œuvre

Auteurs : Abdoulaye Dia, Robin Duponnois

Editeur/ Année IRD / 2010

Résumé : L'initiative de la Grande Muraille Verte (GMV), projet transcontinental, est une réponse de l'Afrique à la désertification, à la pauvreté et au changement climatique. Il s'agit de l'installation et de la mise en valeur intégrée d'espèces végétales à valeur économique adaptées aux terres arides et aux particularités locales, de bassins de rétention, de systèmes de production agricoles et autres activités génératrices de revenus. La GMV intègre ainsi plusieurs systèmes d'utilisation des terres, notamment des formations naturelles, des plantations artificielles anciennes ou nouvelles, des unités agro-sylvo-pastorales, des zones de parcours villageoises ou intercommunautaires, des parcs animaliers, des réserves communautaires et des couloirs de migration de faune. L'ouvrage vise un large public, notamment les scientifiques, enseignants, décideurs, techniciens chargés de la mise en œuvre de la GMV, et permet d'apprécier l'originalité du projet dans son approche concertée et multisectorielle et ses résultats dans le développement intégré des zones arides à semi-arides.

Titre : **Le sens de la vie**

Auteur : Edgardo Delfino Carosella (Directeur de publication)

Editeur/ Année Hermann / 2017

Résumé :

Le sens de la vie nous renvoie à une question qui interpelle l'homme sur son origine et la finalité de sa vie. Quand le sens de la vie échappe à l'individu, il est confronté à ses incertitudes et craintes et peut succomber dans le chaos, allant du repliement sur soi jusqu'à sa destruction. Quand la vie n'a pas de sens, elle n'a plus aucun prix et ne suscite aucun espoir.

La vie se présente sous des formes et des échelles tellement différentes et variées que la réponse à son sens ne peut pas être unique et moins encore universelle. Suivre la matérialité du vivant et particulièrement de l'homme ne ferait que dévier la réponse si l'on ne tenait pas compte que cette matérialité est le produit d'une longue évolution. Elle a donné à chaque espèce une dynamique qui fait que le sens de la vie est en constant changement et que probablement sa seule finalité est la vie elle-même et la conservation de l'espèce.

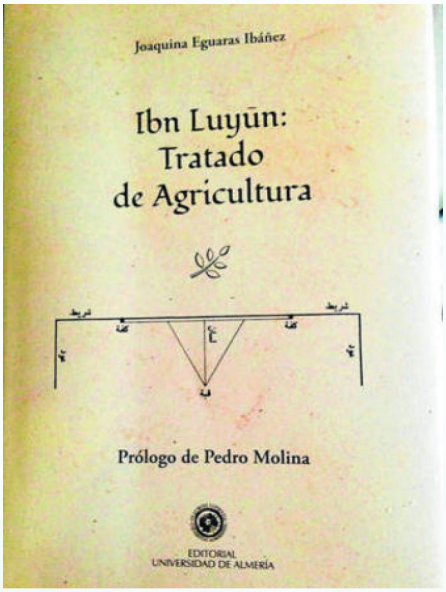
Les actes de ce colloque qui s'est tenu les 28 février et 1er mars 2017 prennent comme point de départ la nature.

Ce colloque a été parrainé par l'Académie des sciences et l'Académie des sciences morales et politiques de l'Institut de France.

Titre : **Ibn Luyun : Tratado de Agricultura** (Arabe –Espagnol)

Auteurs : Ibn Luyun (1282-1349), Auteur - Joaquina Eguaras Ibanez, Traducteur - Pedro Molina, Préfacier

Editeur/ Année Universidad de Almeria / 2014



Résumé : Ce livre, «Traité d'Agriculture de l'andalou d'Alméria Ibn Luyun (1282-1349)», est considéré comme le dernier ouvrage agronomique hispano-musulman qui nous est arrivé complet, précise Mr Pedro Molina, Recteur de l'Université d'Alméria (Espagne).

Ce traité d'agriculture rédigé dans la première moitié du XIVème siècle montre combien l'agronomie était à la pointe de la science en al-Andalus. L'arrivée des Arabes dans la Péninsule a donné lieu à des progrès extraordinaires dans ce domaine. Nombreuses sont les raisons qui expliquent ces avancées, en particulier l'intérêt des Arabes pour la médecine, qui s'appuyait sur les propriétés curatives des plantes, donc la botanique. Par ailleurs, différentes plantes firent l'objet d'échanges au sein du vaste empire islamique et leur acclimatation requit l'étude de leurs besoins spécifiques.

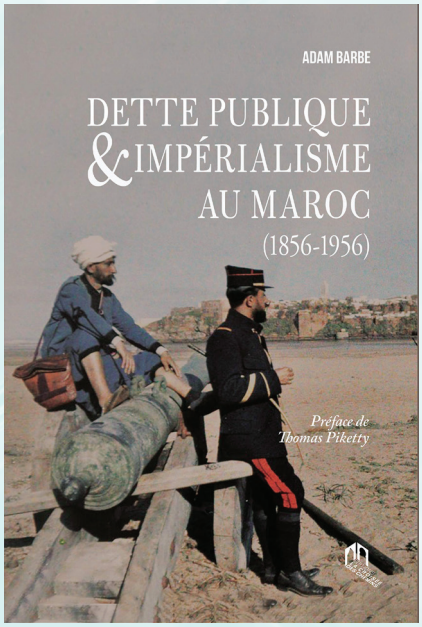
L'auteur de cet ouvrage, Ibn Luyun, est né à Almería en 1282 et mort en 1349 des suites de la peste. Il fut non seulement agronome, mais aussi philosophe, juriste, mathématicien, poète et ascète. Comme de nombreux érudits de son époque, il voyagea au Maghreb et en Orient pour parfaire son éducation. Les licences à enseigner qui lui ont été concédées par différents maîtres (Abû al-Hayyan d'Almería, Abû Zakariyâ' Yahyâ ibn Ahmad ibn Muhammad ibn Qas al-Fasi, de Fès, ou Abû 'Abd Allâh Muhammad ibn Ibrahim ibn Sa'ad al-Nakani, d'Egypte, entre autres) en témoignent.

Titre : **Dette publique & impérialisme au Maroc (1856-1956)**

Auteur : Adam Barbe; Thomas Piketty, Préfacier

Editeur/ Année La Croisée des Chemins / 2020

Résumé :



Peu de grandes batailles ont précédé la signature du traité de Fès en 1912. Et pour cause : c'est l'endettement insoutenable qui a précipité l'instauration du protectorat français au Maroc. Ce livre explicite les mécanismes économiques et diplomatiques à l'origine de cet étranglement financier. L'importance de la dette au Maroc pendant la colonisation ne se limite pas à la conquête française : elle a permis à des acteurs financiers d'occuper une place incontournable dans l'économie coloniale, voire au-delà : l'importance de l'Omnium Nord-Africain (ONA) dans le Maroc indépendant n'est pas sans lien avec le système mis en place par la Banque de Paris et des Pays-Bas (Paribas) sous le protectorat. Surtout, la question de l'endettement marocain à l'égard de la France pendant la période coloniale en soulève une autre: le Maroc a-t-il été subventionné par la France ? C'est dès lors sur un siècle, de 1856 à 1956, que se noue une histoire économique, politique et diplomatique dont la dette est le fil rouge, actrice discrète mais non moins essentielle des bouleversements à l'origine du Maroc moderne. Cet ouvrage est préfacé par Thomas Piketty.

Nouvelles des académiciens

Prof. Rajaâ CHERKAOUI EL MOURSLI nommée membre du conseil scientifique de la Biennale de Luanda (Sur proposition de l'UNESCO et accord du ministre)

La Biennale de Luand a– «Forum panafricain pour la culture de la paix» est une initiative conjointe de l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO), de l'Union africaine (UA) et du Gouvernement de l'Angola qui participe à la mise en œuvre du «Plan d'action en faveur d'une culture de la paix en Afrique/Agissons pour la paix» adopté en mars de 2013 à Luanda, Angola, lors du Forum panafricain «Sources et ressources pour une culture de la paix». La première édition de la Biennale s'est tenue à Luanda en septembre 2019. **La 2e édition se tiendra du 4 au 8 octobre 2021 à Luanda**.

Participants

North Africa

1. Prof. Mrs. Rajaâ Cherkaoui El Moursli, member of the Jury of the International Awards in Physical Sciences for the L'Oréal-UNESCO Awards for Women in Science **(Morocco)**
2. Mr. Munzoul Asal, Peace Research Institute **(Sudan)**
3. Prof. Ahmed Abdel Latif, International Center for Conflict Resolution - CCCPA **(Egypt)**

West Africa

1. Mr. Willie Eselebore The University of Ibadan **(Nigeria)**
2. Mr. Mekré Meité UNESCO Chair of the University Houphouët-Boigny **(Ivory Coast)**
3. Mrs. Odete Semedo writer, Woman of Culture, Former Minister of Education of Guinea-Bissau. **(Guinea-Bissau)**

East Africa

1. Dr. Yonas Adaye Adeto, is the Director of the Institute for Peace and Security Studies (IPSS) at Addis Ababa University, Ethiopia. He received his PhD from the University of Bradford, UK, and is an assistant peacebuilding and security governance in Africa. **(Ethiopia)**
2. Ms. Mary Kangethe Director of the Education Program of the UNESCO National Commission in Kenya - Ms. Mary Kangethe is an education specialist who has served the Ministry of Education in Kenya for many years. She has a strong capacity in peace education and facilitating peace building and EVP workshops in an extraordinary way. She has contributed to national, regional and international workshops/seminars. **(Kenya)**

Central Africa

1. Mr. Charles Binam, head of the International Center for Research and Documentation on African Traditions and Languages **(Cameroon)**
2. Mr. José Octavio Serra Van Dunem – Agostinho Neto University **(Angola)**

Southern Africa

1. Ms. Elisa Ravengai, a disability expert, a renowned disability activist and the National Coordinator of the National Disability Federation in Zimbabwe. **(Zimbabwe)**
2. Ms. Nomthandazo Ntlama, Oliver Tambo Chai **(South Africa)**
3. Ms. Ana Elisa Santana Afonso, Former Director at UNESCO and former Head of the Culture of Peace Program in Mozambique **(Mozambique)**

Diaspora

1. Prof. Ms Lia Diskin. Argentine-Brazilian anthropologist with extensive experience in the culture of peace. She is the founder of the prestigious NGO Palas Athena and in 2020 received the Padma Shri Award, India's fourth highest civilian honor, for her «active involvement in promoting Gandhian values of peace and non-violence over the past four decades.» **(Brazil)**
2. Ms. Susana Matute, Director of Afro-African Policies – Ministry of Culture **(Peru)**
3. Ms. Annick Thebia Melsan, Director, screenwriter, specialist of Aimé Césaire **(Guyana)**

Ex Officio members

1. Prof. Jean Noel Loucou, Secretary General of the Felix Houphouët Boigny Foundation for Peace Research and Permanent Secretary of the Network of Foundations and Research Institutions for the Promotion of the Culture of Peace in Afric **(Ivory Coast)**
2. Dr. David Adams, President of the Culture of Peace News Network – Former Director of the Culture of Peace Coordination at UNESCO **(United States)**
3. Mr. Adama Ouane, Former Director of the UNESCO Institute for Lifelong Learning and former Administrator of the Organisation internationale de la Francophonie **(Mali)**

Observer Members UNESCO

- Mr Vincenzo Fazzino, Biennale of Luanda International Coordinator
- Mr Rodney Odjinka, Liaison Officer
- Ms Liliana Mota, Coordination and Partnership Officer
- Ms Irene Aragona, Coordination and Youth Mobilization Officer

ANGOLA

• Ambassador Mr Jose Sita Diakumpuna, Head of the National Commission of the Biennale of Luanda
AFRICAN UNION

• Ms Seraphine Kando, Human Rights Expert **OTHERS**

- Ms Seba Issa, Program Associate, Peacekeeping
- Ms Maria Manjate, OCPA Research Officer

Le Pr. Mohamed BERRIANE nommé membre de la Commission Scientifique Spécialisée 4 (Sciences Humaines et Sociales) de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD)

Prof Mohamed Berriane, membre du Collège Etudes Stratégiques et Développement économique a été nommé par la présidence de l'IRD membre de la Commission scientifique spécialisée 4 (Sciences humaines et sociales) de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) pour la période 2021-2024.

Les commissions spécialisées sont d'importants organes de l'IRD, avec d'une part un rôle d'évaluation des chercheurs, et d'autre part la responsabilité des recrutements des chargés de recherche et directeurs de recherche (jury des concours). L'évaluation des chercheurs, selon un rapport bi-annuel, est effectué lors de la session d'automne. Les recrutements des chercheurs sont effectués lors des sessions de printemps.

Pr. El Mokhtar ESSASSI élu président des Premières Journées Scientifiques de Chimie Maroco-Ivoiriennnes*, organisées sur le thème «La chimie au service du développement»

Dans le cadre des relations fraternelles et scientifiques qui existent entre la Côte d'Ivoire et le Maroc, les Premières Journées Scientifiques de Chimie Maroco-Ivoiriennes ont été organisées du 14 au 16 Janvier 2021 par l'Association des chercheurs et enseignants-chercheurs lauréats du Maroc en Côte d'Ivoire (ASCECLMACI), en collaboration avec des chercheurs du Maroc. Les participants à cette importante manifestation scientifique, dont le thème principal est intitulé: la chimie au service du développement, ont saisi cette occasion pour présenter et discuter leurs récents travaux dans les domaines des Sciences Chimiques : Chimie Organique, Substances Naturelles et Pharmacologie, Chimie des cultures, Chimie Environnementale, Electrochimie et Chimie Théorique.

Durant ces Journées scientifiques, une conférence plénière, 100 communications-dont 94 orales et 6 par affiche- ont été présentées. Le professeur El Mokhtar Essassi, membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, a fait deux interventions lors des cérémonies d'ouverture et de clôture.

La chimie est une science qui s'intéresse à la structure de la matière. Elle est, par excellence, la discipline qui étudie la transformation de la matière, faisant d'elle la branche scientifique qui crée ses objets et les étudie. Depuis l'introduction de la chimie supramoléculaire, la chimie peut être également considérée comme une science de l'information. Notons que cette branche a conquis la chimie du vivant (reconnaissance moléculaire, auto-organisation, matériaux adaptatifs)

La chimie joue un rôle primordiale dans le bien être des humains, en relevant des défis relatifs à l'agriculture, la santé, l'eau, l'énergie et l'environnement.

Les chimistes ont mis au point en synthèse organique, la chimie verte, en respectant le principe : produire mieux et consommer moins. De même, dans les sciences des matériaux, des méthodes de synthèse biomimétiques ou bio-inspirées, ont été utilisées, permettant de mettre au point une nouvelle branche de la chimie : la chimie douce.

Dans le cadre de la collaboration qui existe entre la Côte d'Ivoire et le Maroc, deux chercheurs Ivoiriens, Dr Mohamed Lamine Doumbia et Dr Ballo Daouda, ont soutenu une thèse de doctorat à la Faculté des Sciences de l'Université Mohammed V de Rabat. Ces réalisations complètent celles déjà accomplies par le biais d'une collaboration Sud-Sud, entreprise depuis 2000, par le Laboratoire de Chimie Organique Hétérocyclique de la Faculté des Sciences de Rabat. Ainsi, des étudiants-chercheurs originaires de la Guinée Conakry (1), du Cameroun (1), du Congo Démocratique (4), de Madagascar (1), du Yemen (3) et de Mauritanie (4), ont préparé et soutenu une thèse de doctorat à la Faculté des Sciences de Rabat.

Il est à souligner que d'autres universités marocaines ont également accueilli des doctorants de côte d'Ivoire et de plusieurs pays africains amis.

Un vibrant hommage a été rendu à Monsieur El Mokhtar Essassi, Membre Résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, en organisant ces Journées Scientifiques sous son haut parrainage et en le désignant comme Président du Comité Scientifique de cette manifestation.

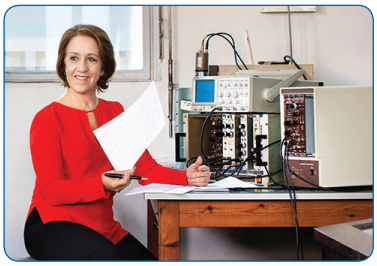
---

* Organisées par l'Association des chercheurs et enseignants-chercheurs lauréats du Maroc en Côte d'Ivoire (ASCECLMACI), en partenariat avec : Le Journal Marocain de Chimie Hétérocyclique, l'Université Mohammed V de Rabat, l'Université IBN Zohr, Agadir, l'Ambassade du Maroc en Côte d'Ivoire, l'Agence Marocaine de Coopération Internationale (AMCI), l'Université Félix Houphouët Boigny de Cocody-Abidjan, l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, l'Université Musulmane Africaine (UMA), l'Association des Lauréats Etrangers du Maroc (ASLEM), CSG Africa, D'AARYS (Côte d'Ivoire).

Parution aux Éditions Humen Sciences de «L'enfant sans défenses. La vie passionnée d'un grand pédiatre», du Pr. Claude GRISCELLI, membre associé de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

« Si l'on peut parler de la naissance d'une vocation, je crois que la mienne se situe ici, dans la chambre blanche de l'hôpital Bicêtre, devant le triste spectacle d'un enfant qui souffre. » Dans ce récit fort, ponctué d'histoires de guérisons et de drames, Claude Griscelli raconte comment une poignée de pionniers, dont il fait partie, a créé dans les années 1970 la pédiatrie moderne et permis de mieux soigner les enfants. À la tête d'une équipe de médecins et chercheurs formidables, ce grand immunologiste a mobilisé la recherche sur des maladies génétiques graves, chroniques et sources de souffrances. On lui doit les greffes de moelle osseuse permettant de reconstituer le système de défenses génétiquement défaillant des fameux « bébés bulles » et, plus tard, les premières étapes de la thérapie génique. Il s'est aussi battu pour que l'hôpital accueille les jeunes patients dans des services spécialisés, sans les couper de leur scolarité, leur permettant ainsi de mener leur vie d'enfant ou d'adolescent.

Rajaâ CHERKAOUI EL MOURSLI dans le TOP 50 des meilleurs scientifiques du monde selon le classement américain AD Scientific Index



University	Country	Region	World	AD Scienfitic Index - 2021				H INDEX			i10 INDEX			CITATION		
				Name	Country	University	Subject	Total	Last 5 year	Last 5 year / total	Total	Last 5 year	Last 5 year / total	Total	Last 5 year	Last 5 year / total
1	1	1	34	Rajaâ Cherkaoui El Moursli		Université Mohammed V de Rabat	Natural Sciences / Physics Nuclear Physics|Medical Physics|High Energy Physics|	203	167	0.823	860	776	0.902	192543	125856	0.654
2	2	2	40	Farida Fassi		Université Mohammed V de Rabat	Natural Sciences / Physics High Energy Physics|Astronomy|Engineering|Grid Computing|	198	163	0.823	766	719	0.939	214384	138301	0.645

Crédits: AD Scientific Index 2021

De renommée internationale, El Moursli occupe la première place dans tous les domaines, au Maroc, en Afrique et dans la région MENA, et se hisse à la 34e place au niveau mondiale.

Les classements sont basés sur trois facteurs clés, à savoir l'indice H, l'indice i10 et le nombre de citations générales. L'indice H est une mesure au niveau de l'auteur mesurant la productivité et l'impact des citations de leurs publications, basée sur un ensemble d'articles les plus cités par les scientifiques. L'index i10 relève le nombre de publications avec au moins 10 citations via Google Scholar.

Spécialiste en physique nucléaire, El Moursli fait partie des pionnières marocaines officielles lors de la collaboration internationale ATLAS au CERN à Genève en 1996. En 2013, elle devient vice-présidente pour la recherche, la coopération et le partenariat de l'université Mohammed V-Agdal. En 2015, elle reçoit le prix L'Oréal-Unesco pour les femmes et la science pour sa contribution à la preuve de l'existence du boson de Higgs. Elle est la première femme marocaine à recevoir ce prix prestigieux.

Synthesis and Identification of Novel Potential Molecules Against Covid-19 Main Protease Through Structure-Guided Virtual Screening Approach *

Youness EL BAKRI, El Hassane ANOUAR, Sajjad AHMAD,
Amal A. NASSAR, Mohamed LABD TAHA, Joel T. MAGUE,
Lhoussaine EL GHAYATI and El Mokhtar ESSASSI

Applied Biochemistry and Biotechnology, 2021, 193, 3602-3623

https://doi.org/10.1007/s12010-021-03615-8

The novel coronavirus disease that arises in the end of 2019 (Covid-19) in Wuhan, China, has rapidly spread over the globe and was considered as a world pandemic. Currently, various antiviral therapies or vaccines are available, and many researches are ongoing for further treatments. Targeting the coronavirus' main protease (key enzyme: 3CLpro) is growing in importance in anti-SARS-CoV-2 drug discovery process. The present study aims at predicting the antiviral activity of two novel compounds using in silico approaches that might become potential leads against SARS-CoV-2. The 3D structures of the new compounds are elucidated by single-crystal X-ray techniques. The interactions between different units of the quinoxalinic compound 4 and the benzodizepinic compound 5 were emphasized by analyzing their corresponding Hirshfeld surfaces and ESP plots. NBO and FMO analyses were investigated.

Molecular docking combined with molecular dynamics simulations (MDs) was performed to investigate the binding modes and molecular interactions of the compounds 4 and 5 with the amino acids of coronavirus main protease (6LU7) protein. The best docking scores were obtained for both ligands through the major binding interactions via hydrogen/hydrophobic bonds with the key amino acids in the active site: HIS41, CYS145, MET49, MET165, HIS172, and GLU166 amino acids.

A MD simulation study was also performed for 100 ns to validate the stability behavior of

the main protease 3CLpro-ligand complexes. The MD simulation study successfully confirmed the stability of the ligands in the binding site as potent anti-SARS-CoV-2 (Covid-19) inhibitors. Additionally, MMPBSA energy of both docked complexes was determined as a validation assay of docking and MD simulations to validate compound conformation and interaction stability with 3CLpro. The synthesized compounds might be helpful in the fight against Covid-19 prior to biological activity confirmation *in vitro* and *in vivo*.

* Article publié par l'équipe du Pr El Mokhtar ESSASSI, membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, dans le cadre des travaux de recherche développés en Chimie Organique Hétérocyclique à la Faculté des Sciences de l'Université Mohammed V de Rabat, concernant la conception et la synthèse de nouveaux composés aux propriétés thérapeutiques, pharmacologiques et biologiques potentiels.

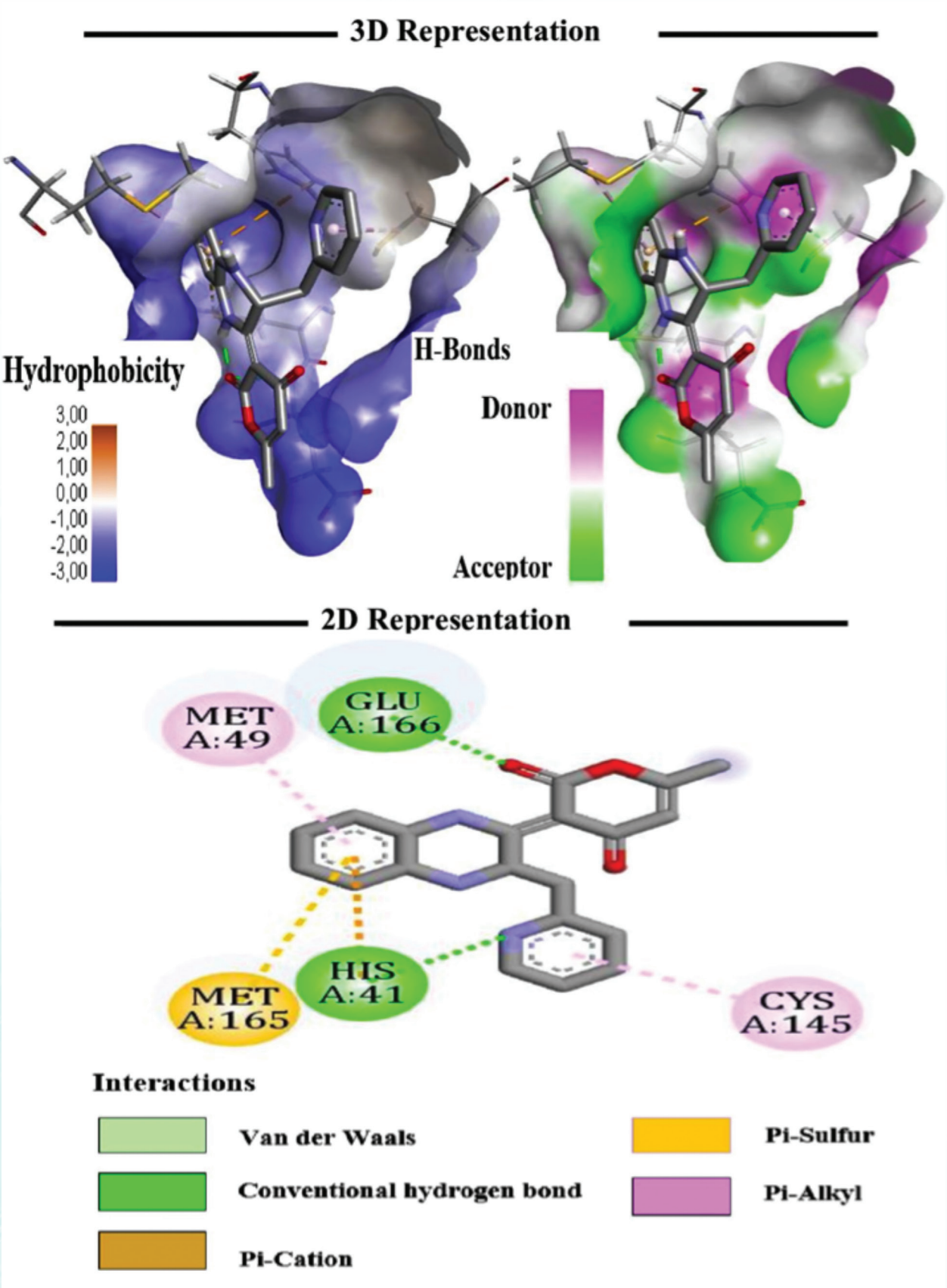


Figure 1 : 3D and 2D representations of compound 4 in the binding pocket of main protease enzyme. In case of 3D, hydrogen bonding in terms of acceptor and donor regions is shown along with coloring on hydrophobicity basis. In the 2D structure, compound 4 is shown via gray stick, while residues are presented by different color disc each presenting specific interaction.

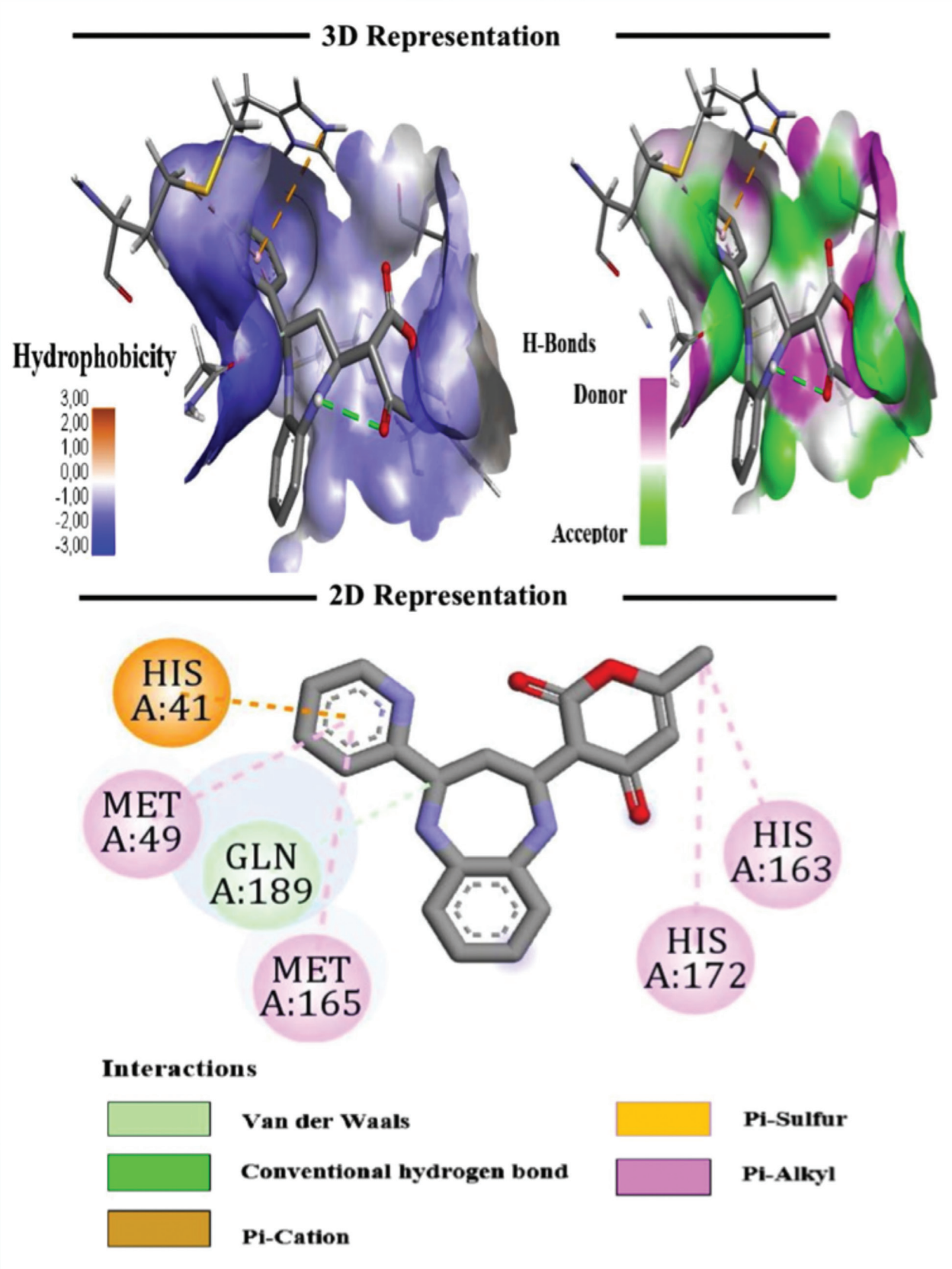


Figure 2 : 3D and 2D representations of 5 in the binding site of the main protease 3CLpro enzyme through molecular docking analysis. In case of 3D, hydrogen bonding in terms of acceptor and donor regions is shown along with coloring on hydrophobicity basis. In the 2D structure, compound 5 is shown via gray stick, while residues are presented by different color disc each presenting specific interaction

© Hassan II Academy Press