

Filière "Biomédicale"

Président: Prof. Antoine Nonclercq (BEAMS - μ &Bio-Mechatronics)

anoncler@ulb.ac.be

Vice-président: Prof. Olivier Debeir (LISA - Image)

odebeir@ulb.ac.be

Site Web: <http://biomed.ulb.ac.be>

Présentation générale de la filière

L'ingénieur civil biomédical, grâce à son profil multidisciplinaire unique, à la croisée du monde biomédical et de l'ingénierie, est capable de concevoir et de mettre en œuvre des équipements répondant aux contraintes complexes de la technologie et du vivant.

Née de la demande de plus en plus croissante d'ingénieurs capables de comprendre, d'interpréter et de matérialiser les besoins techniques du monde médical, la formation d'ingénieur civil biomédical a fêté ses 10 ans d'existence, la première promotion datant de juillet 2007. Cette formation scientifique de haut niveau est accréditée par la Commission des Titres d'Ingénieur (conjointement avec l'Agence pour l'Évaluation de la Qualité de l'Enseignement Supérieur) et a reçu le label EUR-ACE. Elle allie les compétences traditionnelles de l'ingénieur aux connaissances en sciences biomédicales. Le génie biomédical est donc un domaine d'avenir, supportant le développement d'une industrie innovante, nourrie par les sciences de la vie et de la santé.



À l'instar des autres filières, cette formation se réalise en trois années, du BA bloc 3 au MA. Durant ce cursus, les étudiants abordent des domaines tels que la biomécanique, l'instrumentation, l'imagerie et l'informatique biomédicales. Afin de favoriser simultanément le développement personnel et le travail en équipe durant les cinq années d'études, un accent tout particulier est mis sur l'enseignement par projets transdisciplinaires, faisant appel à l'ensemble des matières enseignées, tant biomédicales que dans le domaine de l'ingénieur. En dernière année, en plus du mémoire de fin d'études où l'étudiant doit développer une question relevant de sa spécialité, le cursus permet la réalisation d'un stage de longue durée. Ce stage s'effectue en milieu hospitalier ou en entreprise, en Belgique ou à l'étranger, plongeant ainsi l'étudiant ingénieur civil biomédical dans l'environnement qu'il est susceptible de rencontrer dans l'exercice de son futur métier.

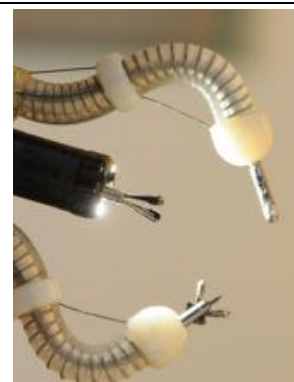
Quels que soient les domaines de l'ingénierie biomédicale, l'avenir appartient aux équipes multidisciplinaires. L'ingénieur civil biomédical a donc un rôle fondamental à jouer dans la synthèse des approches scientifiques et technologiques du monde biomédical et du monde de l'ingénieur.

La formation dispensée par la filière

À partir des masters, la formation de l'ingénieur civil biomédical s'oriente dans les trois domaines privilégiés suivants:

1. La biomécanique
2. L'instrumentation biomédicale
3. L'imagerie et informatique biomédicales

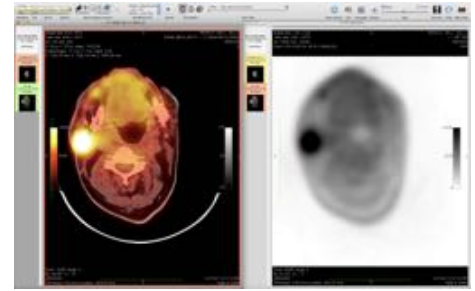
Le volet « biomécanique » insiste sur les aspects liés à la conception, au choix des matériaux et à la fabrication des prothèses, d'instruments microchirurgicaux et de dispositifs implantables, ainsi que sur l'analyse



mécanique des systèmes biologiques tels que le système musculo-squelettique avec et sans prothèse.

Le volet « instrumentation biomédicale » se rapporte à l'élaboration de capteurs et de stimulateurs, essentiellement par l'électronique et la micro-électronique numériques et analogiques, pour la réalisation de dispositifs médicaux, implantables ou non.

Le volet « imagerie et informatique biomédicales » insiste sur les aspects liés à l'acquisition, au traitement, à la validation et à l'interprétation des données biomédicales. Les différents systèmes d'imagerie moderne sont étudiés et les images produites sont exploitées dans divers domaines, tels l'aide au diagnostic, le planning chirurgical ou la navigation opératoire.



Alors que la première partie du programme de MA (MA bloc 1) procure les matières de base pour ces différents volets, lors la deuxième partie du cursus (MA bloc 2), l'étudiant aura la possibilité de choisir un ensemble de cours se rapprochant plus de ses affinités dans l'un ou l'autre des trois domaines privilégiés dans cette formation. Il aura aussi la possibilité de s'orienter vers les matières nécessaires à la formation d'expert en radiophysique médicale. Cette dernière permettra à l'étudiant de comprendre les aspects liés à l'utilisation et à l'impact de rayonnements ionisants (radiothérapie, scanner, ...) sur les tissus vivants.

Contenu du cursus

BA bloc 3

Outre les cours de tronc commun, 30 ECTS sont propres à la filière. Il s'agit d'un ensemble de cours destinés à acquérir les notions de base en Sciences biomédicales (biologie, physiologie, biochimie et anatomie) et Sciences de l'ingénieur (instrumentation, complément d'informatique et automatique), qui constituent les bases pour les cours de MA.

MA bloc 1

Les cours s'articulent autour de deux modules « Sciences biomédicales » (25 ECTS) et « Sciences de l'ingénieur » (30 ECTS), couvrant les bases des trois domaines privilégiés dans la formation (biomécanique, instrumentation et imagerie) pour permettre à l'étudiant d'orienter son cursus de MA bloc 2 selon ses affinités.

Ce programme est complété par un projet spécifique d'ingénierie biomédicale (5 ECTS) qui se décline en un projet d'imagerie biomédicale ou un projet de biomécanique. En alternative, les étudiants auront accès, sur sélection, à deux autres types de projets : un projet biomédical en coopération au développement (voir www.ulb.ac.be/facs/polytech/cooperation.html pour plus d'information) ou le projet « chef d'équipe » où ils devront encadrer un groupe d'étudiants dans le cadre de leur projet de BA bloc 1.

MA bloc 2

En dernière année, le programme comprend le mémoire de fin d'études qui comptabilise 20 ECTS et trois modules de cours, chacun spécialisé dans l'un des trois domaines privilégiés (biomécanique, instrumentation ou imagerie). En choisissant un minimum de 20 ECTS dans deux des trois modules, chaque étudiant aura la possibilité de se spécialiser selon ses affinités. Une dernière alternative lui permettra de se spécialiser en radiophysique médicale et d'accéder à la formation complémentaire d'expert en radiophysique médicale.

L'étudiant peut alors compléter son choix par un stage (10 ECTS) en entreprise ou milieu hospitalier, en Belgique ou à l'étranger, dans un module de cours complémentaires et un module libre, pour comptabiliser un total de 60 ECTS au minimum. Les étudiants participent également à différentes journées thématiques (5 ECTS) : les Biomedical Days (trois journées de conférences présentées par un panel d'orateurs principalement industriels, proposées conjointement avec l'UCL et l'ULg) et le National Day on Biomedical Engineering – incluant une « job fair » biomédicale.

Une partie du cursus est donnée en Anglais (le nombre d'heures dépend des cours choisis par l'étudiant).

Les projets, mémoires de fin d'études et stages

Les projets ont lieu en MA bloc 1 et sont orientés dans l'un des domaines privilégiés de la formation. Il s'agit soit d'un projet de conception assistée par ordinateur ayant trait à la biomécanique ou à l'instrumentation, soit d'un projet d'imagerie biomédicale. En alternative, les étudiants ont aussi accès, sur sélection, à un projet biomédical en coopération au développement ou au projet « chef d'équipe ».

Exemples de projets en MA bloc 1

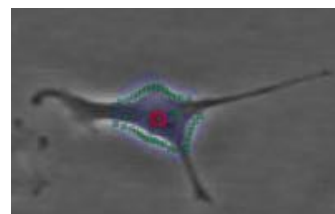
Biomécanique ou instrumentation

- Conception d'une interface haptique à deux degrés de liberté pour un dispositif de palpation de tumeur pulmonaire
- Conception d'un cœur artificiel pour la validation de la méthode SPET servant à l'étude fonctionnelle du cœur
- Conception d'un instrument de palpation pour la chirurgie thoracique mini-invasive
- Design d'un système d'instrumentation en vue de l'étude des sollicitations mécaniques de la diaphyse tibiale pour la prévention de l'ostéoporose de décharge chez les astronautes



Imagerie biomédicale

- Détection de neurone en imagerie à fluorescence par modèle
- Intégration d'un système de navigation 3D et d'une source d'image acquise par CT-scan
- Mesure de paramètres morphologiques de neurones à partir d'images obtenues par microscopie confocale
- Quantification d'expression protéique au sein de cellules soumises à un procédé d'immunofluorescence
- Développement d'un échographe ultrasonore « low-cost »



En MA bloc 2, l'étudiant doit réaliser un mémoire de fin d'études dont le sujet doit être déterminé dans le courant du MA bloc 1. Une liste de sujets est publiée chaque année dans le courant du mois de mars et s'articule autour des thèmes de recherche des différents services de la faculté impliqués dans la recherche biomédicale (décrits ci-après).

Exemples de sujets de mémoires

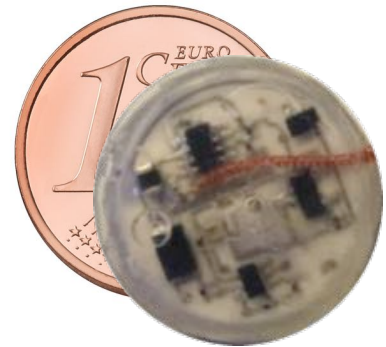
Biomécanique

- Analyse des effets d'interaction pied-sol des joueurs de football lors du saut
- Développement d'un banc de tests expérimental pour l'étude du genou lors de la marche
- Conception d'un robot esclave de téléopération adapté à la laparoscopie
- Conception et réalisation d'un dispositif de positionnement et de déploiement d'une sleeve gastrique par voie naturelle
- Etude de faisabilité d'un nouveau traitement endoscopique utilisant un plasma froid
- Réalisation d'une palpation robotisée en chirurgie mini-invasive



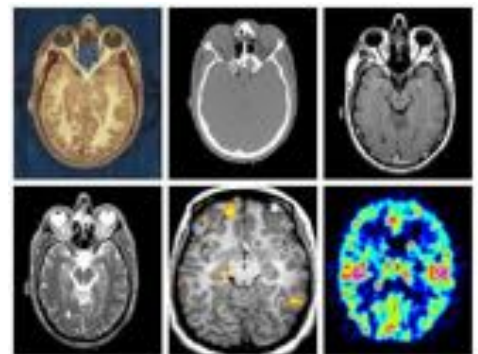
Instrumentation

- Dépistage de la neuropathie autonome à partir de la variabilité du rythme cardiaque
- Réalisation d'un système couplé de transfert wireless de puissance et données pour gastrostimulateur implantable
- Développement d'une interface cerveau-machine pour le tétraplégique
- Conception et mise en œuvre par simulation d'un modèle de nerf permettant de déterminer le potentiel d'action composé
- Réalisation d'un système d'acquisition et de rapatriement de données pour personnes paraplégiques



Imagerie et informatique biomédicales

- Colocalisation de marquages immunohistochimiques par analyse d'images digitales
- Développement d'un serveur d'informations médicales multimédias pour le quartier opératoire
- Mesures et calculs spectraux de RX autour d'installations de radiothérapie
- Segmentation automatique de neurone acquis par microscopie confocale
- Segmentation d'image médicale à l'aide d'un « Active Appearance Model »
- Détection de mouvements dans une séquence IRM dynamique



En MA bloc 2, les étudiants ont, de plus, la possibilité d'effectuer un stage d'immersion professionnelle de minimum 12 semaines. Le stage permet à l'étudiant de se confronter activement au monde professionnel et d'acquérir une première expérience ainsi que des compétences d'ingénierie en situation réelle. Le stage se déroule dans une entreprise ou un service hospitalier en Belgique ou à l'étranger. Il peut aussi se dérouler dans un groupe de recherche universitaire, mais uniquement à l'étranger.

Exemples de lieux de stages

En entreprise : Baxter, Biocartis, Cardiatis, Cardio³, Centexbel, Cochlear, Endo Tools Therapeutics, Euranova, IBA, IMEC, Inoue, Intuitim, Johnson & Johnson Medical, Kisano, Materialise, Medisoft, MedPole, Mobelife, Siemens, Synergia Medical, Volcano, 3Win, ...

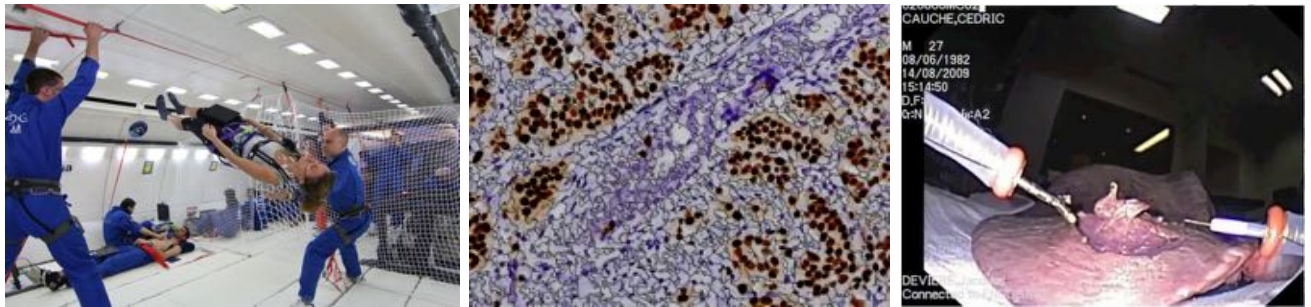
En milieu hospitalier

- Hôpital Érasme (Service d'Anatomie Pathologique, Service de Radiologie et d'Imagerie médicale, Service de Neurochirurgie, Centre Gamma Knife, Service de Chirurgie Thoracique, Unité PET Scan – Cyclotron, Service d'Orthopédie Traumatologie, Laboratoire du Sommeil, ...)
- Hôpital Brugmann (Laboratoire de Neurophysiologie Sensorielle et Cognitive)
- Institut Jules Bordet (Service de Médecine Nucléaire)

À l'étranger (en entreprise, hôpital ou groupe de recherche universitaire)

- Brain Innovation (Maastricht, Hollande), Withings (Paris, France), Image Guided Therapy (Pessac, France)
- Alfred Hospital (Melbourne, Australie), Hôpital de la pitié Salpêtrière (Paris, France)
- Harvard University (Cambridge, USA), University College London (Londres, UK)

La recherche dans la filière



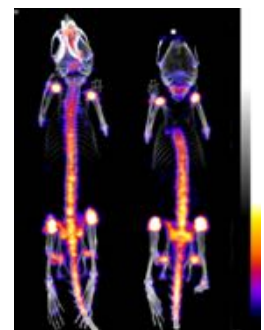
Différents services de l'École polytechnique sont très actifs en recherche biomédicale, qu'elle soit à caractère plus fondamental ou appliqué. Les thèmes abordés sont très vastes, dont voici quelques exemples :

- Conception, modélisation et développement d'équipements biomédicaux pour la chirurgie mini-invasive (pompes implantables pour délivrer des médicaments, outils de laparoscopie pour la chirurgie hépatique, station chirurgicale pour les interventions endoscopiques)
- Développement d'un électrostimulateur gastrique implantable par voie endoscopique
- Développement d'un stimulateur implanté permettant aux personnes parapalégiques de récupérer des fonctionnalités perdues
- Étude de la fonction hépatique par analyse d'images acquises par résonance magnétique
- Étude du comportement cellulaire 2D et 3D par vidéomicroscopie et analyse d'images
- Étude des relations structure-activité en biologie moléculaire et en chimie médicinale
- Étude des relations entre la séquence, la structure et la fonction des protéines
- Mise en place d'un système de chirurgie du foie guidée par l'image
- Modélisation d'organes humains et d'instrumentation électronique biomédicale (monitoring cardio-respiratoire, EEG, EMG, stimulation électrique).
- Modélisation mathématique des procédés chimiques et biologiques
- Monitoring et électrostimulation (EEG, EMG, ENG, etc.) pour dispositifs implantés et non-implantés
- Monitoring de la relaxation musculaire sous agents bloquants neuromusculaires
- Planification en radiothérapie assistée par imagerie nucléaire tumorale
- Recherche et validation de biomarqueurs histologiques et immunohistochimiques par analyse d'images
- Système de réalité virtuelle d'aide à la réalisation et à l'évaluation d'exercices physiques
- Traitement des signaux biomédicaux (signal de la parole, signaux électroencéphalographiques et électrocardiographiques)

De plus amples informations sont disponibles sur le site de la filière : <http://biomed.ulb.ac.be>, page « La recherche en biomédical au sein de la Faculté des Sciences appliquées ».

- Participation de la filière au centre d'imagerie du campus de Gosselies :

Le *Center for Microscopy and Molecular Imaging* (CMMI) au sein du Biopark de Gosselies enrichit les perspectives de recherche biomédicale, ainsi que la réalisation de mémoires et de thèses de doctorat pour les étudiants de la filière. Ce centre implique des laboratoires de l'Umons et de l'ULB, dont plusieurs laboratoires de l'École polytechnique. Pleinement opérationnel depuis novembre 2011, il offre une plateforme d'imagerie biomédicale préclinique intégrée et performante, proposant un très large éventail d'instrumentations et de méthodologies modernes, s'étendant de la microscopie électronique à l'imagerie in vivo du petit animal. Pour plus d'informations, voir <http://www.cmmi.be>.



- Participation de la filière au *Brussels Medical Device Center* (campus Érasme) :

Fruit de plus de 10 ans de collaboration entre médecins et ingénieurs, le *Brussel Medical Device Center* (BMDC) a pour mission principale le développement de dispositifs médicaux depuis l'idée jusqu'à la commercialisation en passant par toutes les étapes essentielles de conception de fabrication et d'accès au marché. Les techniques de fabrication à disposition (prototypage rapide, tests de validation, études cliniques) ainsi que le développement d'un système qualité certifié ISO 13485 permettent une grande rapidité dans la réalisation des projets. Le BMDC permet de concrétiser les besoins des médecins vers le monde industriel et la création de spin-off et d'activement assurer la transférabilité de l'idée vers une commercialisation. En tant qu'association sans but lucratif, l'ensemble des bénéfices est réinvesti dans des projets délaissés par les sociétés commerciales par manque de marché. Pour plus d'informations, voir <http://www.bmdc.eu>.

Les débouchés

L'ingénierie biomédicale est l'un des domaines en plus forte croissance et l'offre d'emploi s'amplifie d'année en année, en particulier dans le secteur de l'innovation. À titre d'information, en 2016, plus de 12 000 demandes de brevet ont été déposées auprès de l'Office européen des brevets dans le domaine de la technologie médicale, soit plus que dans n'importe quel autre domaine technique¹. 41 % de ces demandes de brevet ont été déposées



Top 10 des demandes de brevet par domaine technique. Nombre de demandes de brevet déposées à l'Office européen des brevets en 2016¹

par des pays européens contre 38 % par les États-Unis². L'innovation est telle qu'en moyenne, une technologie médicale sera supplantée par une version améliorée dans les 18 à 24 mois suivant son introduction². L'ingénieur civil biomédical trouve donc naturellement sa place, en tant qu'expert, project manager ou project leader, dans les départements R&D, les bureaux de consultance et les groupes de recherche universitaires pour concevoir, développer et optimiser de nombreux dispositifs médicaux à usage clinique ou de recherche.

Il y a presque 25.000 entreprises dans le domaine de la technologie médicale en Europe qui emploient plus de 575 000 personnes, en comparaison des 520 000 personnes employées dans ce secteur aux États-Unis. L'industrie pharmaceutique, quant à elle, emploie 675 000 personnes en Europe³. La demande de travailleurs avec un haut niveau de formation est donc importante dans le domaine de la technologie médicale, en général, et dans nos pays, en particulier. La formation d'ingénieur civil biomédical a été créée suite à cette demande.

L'ingénieur civil biomédical pourra postuler dans de grandes entreprises renommées depuis longtemps pour leur réalisation et production en matériel médical et aussi - et surtout - dans les nombreuses PME. En effet, l'industrie de la technologie médicale européenne est faite de 95% de PME⁴. Ces entreprises sont poussées par la taille considérable du marché de la technologie médicale. En Europe, il est estimé à environ 100 milliards d'euros⁵. L'Europe a aussi dans ce domaine une balance commerciale positive de 15,2 milliards d'euros (2013). Les destinations et la répartition des importations/exportations en fonction des pays sont spécifiées ci-dessous, où la Belgique se retrouve dans le peloton de tête.

Notre pays offre un grand nombre de possibilités d'emploi pour les ingénieurs civils biomédicaux. Pour se faire une idée, en Belgique, l'industrie des dispositifs médicaux emploie environ 18 000 personnes, le chiffre d'affaires du secteur des dispositifs médicaux réalisé sur le marché national s'élève à 3,4 milliards d'euros,

¹ European Patent Office (2016) World Intellectual Property Organization (based on the WIPO IPC-Technology) & Eucomed - medical technology industry in Europe (2014)

² European Patent Office (2016) & Eucomed - medical technology industry in Europe (2014)

³ S. Tripp, M. Grueber, R. Helwig - The Economic Impact of the U.S. Advanced Medical Technology Industry, Battelle Technology Partnership Practice, March 2012. & EFPIA & The Pharmaceutical Industry in Figures. Key Data 2013. Europe refers to EU + Norway, Switzerland

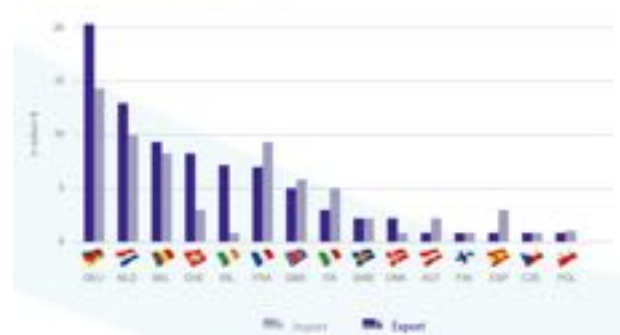
⁴ Eucomed - medical technology industry in Europe (2014)

⁵ WHO Global Health Expenditure Database, Eurostat, Eucomed calculations based on the data obtained from National Associations of 15 countries

le secteur des dispositifs médicaux croît à un rythme de 4 % par an (2010) et notre pays compte plus de 380 entreprises spécialisées dans les dispositifs médicaux, pour 70 % de PME⁶.



Principales destinations d'exportation de la technologie médicale européenne (2012)⁷



Importations et exportations de la technologie médicale par pays (2013)⁸

Certains ingénieurs civils biomédicaux décident aussi de créer leur entreprise. À ce sujet, L'École polytechnique est particulièrement performante au niveau de la valorisation économique de sa recherche. La recherche réalisée dans ses différents laboratoires est actuellement valorisée au travers de quatorze spin-offs, dont huit créées depuis 2010, sur un total de 33 spin-offs au niveau de l'ULB⁸. En particulier, dans le domaine biomédical, l'École polytechnique compte trois spin-offs actives (Endo Tools Therapeutics, Ovizio et Noho⁹) et trois autres en projet.

La formation polyvalente de la filière offre à ses diplômés l'embaras du choix quant à son orientation professionnelle, y compris, pour ceux qui le désirent, dans des domaines autres que l'ingénierie biomédicale. En effet, en fonction de l'orientation choisie par l'étudiant durant son cursus (qui lui fournira un niveau technique fort poussé), l'ingénieur civil biomédical pourra postuler dans d'autres domaines plus traditionnels comme la mécanique, l'électronique et l'informatique. Enfin, par l'originalité de sa formation ancrée dans la réalité médicale, l'ingénieur civil biomédical peut aussi prétendre à occuper des fonctions importantes dans les services hospitaliers et la gestion de structures hospitalières. Le groupe « [Biomedical Engineering - U.L.B.](#) » de LinkedIn donne un aperçu du devenir des diplômés de la filière.

⁶ UNAMECs' annual report, National Bank of Belgium, HUB-VLEKHO & Le consortium de l'innovation MedTech.be, UNAMEC (2013)

⁷ Espicom, Eucomed calculations and figures. Manufacturer prices. Medical technology excluding in vitro diagnostics.

⁸ <https://www.ulb.ac.be/dr/les-spin-offs-de-l-ulb.html>

⁹ Voir respectivement www.endotools.be, www.ovizio.com et www.noho.care