



ÉTAT DES LIEUX ET PERSPECTIVES D'EVOLUTION DES PLATFORMES TECHNIQUES DE CHIRURGIE ROBOTIQUE AU MAROC

Mémoire présenté par :

Docteur BAKHRI MOHAMED

Né le 06/02/1993

POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE SPÉCIALITÉ EN MÉDECINE

Option : Urologie

Sous la direction de Professeur

MELLAS SOUFIANE

Session Juin 2025

Dr. El Kassi Med Jamal
Chirurgien Urologue
Professeur

Dr. Soufiane MELLAS
Chirurgien Urologue
Professeur de l'Enseignement
Supérieur
CHU Hassan II - Fès

LISTE DES ABREVIATIONS

Abréviation Signification

AMO	Assurance Maladie Obligatoire
ANAM	Agence Nationale de l'Assurance Maladie
ANRT	Agence Nationale de Réglementation des Télécommunications
CHU	Centre Hospitalier Universitaire
CNOPS	Caisse Nationale des Organismes de Prévoyance Sociale
CNSRC	Comité National de Suivi de la Robotique Chirurgicale
CNRST	Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique
DU	Diplôme Universitaire
EVA	Échelle Visuelle Analogique (douleur)
FONAROC	Fonds National pour la Robotique Chirurgicale
HDMI	High Definition Multimedia Interface
IHM	Interface Homme-Machine
MAD	Dirham marocain
PRRA	Prostatectomie Radicale Robot-Assistée
R&D	Recherche et Développement
RAMED	Régime d'Assistance Médicale
SAV	Service Après-Vente
UIR	Université Internationale de Rabat

PLAN

ÉTAT DES LIEUX ET PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DES PLATEFORMES TECHNIQUES DE CHIRURGIE ROBOTIQUE AU MAROC

LISTE DES ABREVIATIONS	2
PLAN	3
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	9
PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE	12
Problématique	13
OBJECTIFS DU MÉMOIRE	14
MÉTHODOLOGIE	16
STRUCTURE DU MÉMOIRE.....	18
Chapitre 1 : Évolution de la chirurgie robotique	20
1.1. Historique mondial de la chirurgie assistée par robot	20
1.1.1. Origines et premières expérimentations	20
1.1.2. Avènement des plateformes chirurgicales robotiques	20
1.1.3. Diversification des plateformes et des domaines	22
1.1.4. Revue critique.....	22
1.2. Technologies clés de la chirurgie robotique.....	23
a. Da Vinci® (Intuitive Surgical – USA)	23
b. MAKO® (Stryker – USA)	23
c. ROSA® (Zimmer Biomet – USA).....	23
d. Hugo™ (Medtronic – USA)	24
e. Revo-i® (Meere Company – Corée du Sud)	24
f. Toumai® (China).....	24
g. Versius™ (CMR Surgical – UK).....	24
1.3. Domaines d'application de la chirurgie robotique	26
a. Urologie.....	26

ÉTAT DES LIEUX ET PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DES PLATEFORMES TECHNIQUES DE CHIRURGIE ROBOTIQUE AU MAROC

b. b. Gynécologie	26
c. Chirurgie digestive	26
d. ORL et thoracique	27
e. Neurochirurgie	27
f. Orthopédie	27
Conclusion du chapitre	29
Chapitre 2 : Composantes d'une plateforme technique robotique.....	31
2.1. Architecture d'un bloc opératoire robotisé.....	31
2.1.1. Configuration de la salle opératoire	31
2.1.2. Équipements essentiels.....	32
2.1.3. Contraintes techniques	34
2.2. Interfaces Homme-Machine (HMI).....	35
2.2.1. Principe de télémanipulation	35
2.2.2. Outils d'interaction	35
2.2.3. Ergonomie et sécurité	35
2.3. Systèmes de vision et d'imagerie.....	36
2.3.1. Technologies de visualisation.....	36
2.3.2. Imagerie peropératoire	36
2.3.3. Enregistrement et documentation	36
2.4. Outils d'assistance numérique.....	37
2.4.1. Intelligence Artificielle (IA)	37
2.4.2. Réalité augmentée (RA)	37
2.4.3. Robotique augmentée	37
Conclusion du chapitre	38

ÉTAT DES LIEUX ET PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DES PLATEFORMES TECHNIQUES DE CHIRURGIE ROBOTIQUE AU MAROC

Chapitre 4 : Infrastructures et centres équipés	39
4.1. Carte des établissements équipés de robots chirurgicaux	39
4.2. Typologie des robots utilisés au Maroc.....	41
4.3. Analyse des spécialités médicales concernées	42
Conclusion du chapitre	44
Chapitre 5 : Ressources humaines et formation au Maroc.....	45
5.1. Profil des chirurgiens formés à la robotique	45
5.2. Centres de formation et partenariats internationaux	46
5.2.1. Centres marocains impliqués	46
5.2.2. Partenariats internationaux	46
5.3. Limites et besoins en compétences	47
Conclusion du chapitre	50
Chapitre 6 : Cadre réglementaire et économique de la chirurgie robotique au Maroc.....	51
6.1. Politique de santé et autorisation d'équipements.....	51
6.1.1. Absence d'un cadre juridique spécifique	51
6.1.2. Procédures d'importation et homologation.....	52
6.1.3. Intégration dans les stratégies nationales.....	52
6.2. Coût d'acquisition, maintenance et amortissement.....	52
6.3. Accessibilité pour les patients : public vs privé	54
6.3.1. Secteur privé : un accès réservé à une élite.....	54
6.3.2. Secteur public : un accès encore expérimental.....	54
6.3.3. Inégalités territoriales et sociales	54
6.3.4. Scénarios proposés pour améliorer l'accessibilité	55

ÉTAT DES LIEUX ET PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DES PLATEFORMES TECHNIQUES DE CHIRURGIE ROBOTIQUE AU MAROC

Conclusion du chapitre	56
Chapitre 7 : Études de cas et enquêtes de terrain	57
7.1. Études de cas : établissements pionniers	57
7.1.1. CHU d'Agadir – Projet pilote Revo-i	57
7.1.2. Oncorad – Casablanca : modèle privé d'innovation	58
7.1.3. Clinique Akdital – Casablanca : robot Da Vinci Xi	58
7.2. Résultats des entretiens (n = 17 professionnels)	59
7.3. Enquête patients (n = 122)	60
7.4. Enseignements croisés	61
Conclusion du chapitre	62
Chapitre 8 : Défis techniques, économiques et éthiques	63
8.1. Freins techniques et organisationnels	63
8.1.1. Maintenance et disponibilité technique	63
8.1.2. Courbe d'apprentissage et formation continue	63
8.1.3. Interopérabilité et logistique	64
8.2. Défis économiques	64
8.2.1. Rentabilité incertaine	64
8.2.2. Coût des consommables et dépendance fournisseur	65
8.2.3. Inégalités de financement public vs privé	65
8.3. Enjeux éthiques et sociétaux	65
8.3.1. Inégalités d'accès aux soins	65
8.3.2. Consentement et information des patients	66
8.3.3. Dépendance technologique et souveraineté sanitaire	66
Conclusion du chapitre	67

ÉTAT DES LIEUX ET PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DES PLATEFORMES TECHNIQUES DE CHIRURGIE ROBOTIQUE AU MAROC

Chapitre 9 : Recommandations et perspectives d'avenir	68
9.1. Vers une plateforme technique optimisée	68
9.1.1. Standardisation nationale des blocs robotisés	68
9.1.2. Mutualisation des équipements	68
9.1.3. Maintenance et support technique renforcé	69
9.2. Renforcement des ressources humaines et de la formation	69
9.2.1. Lancement d'un Diplôme Universitaire (DU) national	69
9.2.2. Plateformes de simulation	69
9.2.3. Programme national de certification continue	70
9.3. Développement industriel et souveraineté technologique	70
9.3.1. Appui à la R&D en robotique médicale	70
9.3.2. Partenariat industriel régional	70
9.3.3. Cybersécurité et infrastructure numérique	71
9.4. Équité, financement et gouvernance	71
9.4.1. Financement durable et solidaire	71
9.4.2. Accès équitable	71
9.4.3. Gouvernance	72
Conclusion du chapitre	73
Conclusion générale	74
Recommandations :	76
ANNEXES	79
BIBLIOGRAPHIE	84
RESUME	87

INTRODUCTION GENERALE

Au cours des dernières décennies, le monde a connu une transformation radicale dans le domaine de la chirurgie, portée par les avancées technologiques et l'émergence de la robotique médicale. De la chirurgie conventionnelle à la chirurgie mini-invasive, l'évolution s'est poursuivie vers une troisième voie prometteuse : la chirurgie robot-assistée. Cette révolution technologique, amorcée dans les années 2000 avec les premières plateformes comme le système **Da Vinci**, a ouvert de nouvelles perspectives en matière de précision, de confort opératoire et de sécurité pour les patients.

Dans ce contexte, les **plateformes techniques de chirurgie robotique** s'imposent comme des environnements complexes intégrant des robots opératoires, des systèmes d'imagerie avancés, des interfaces homme-machine sophistiquées et des outils numériques d'assistance à la décision. Ces plateformes nécessitent non seulement des équipements coûteux et performants, mais aussi une organisation rigoureuse, des infrastructures adaptées et une main-d'œuvre hautement qualifiée. Elles sont aujourd'hui largement répandues dans les pays à haut revenu, où elles sont utilisées dans diverses disciplines, notamment l'urologie, la gynécologie, la chirurgie digestive, la neurochirurgie et l'orthopédie.

Au **Maroc**, l'introduction de la chirurgie robotique est récente mais significative. Depuis 2022, plusieurs établissements hospitaliers, publics et privés, ont fait l'acquisition de robots chirurgicaux et réalisé les premières interventions robot-assistées. Le **CHU d'Agadir**, et des structures privés ont marqué les étapes inaugurales d'une transformation en cours. Ces initiatives, bien que pionnières, soulèvent de nombreuses interrogations : quelles sont

les spécificités techniques et organisationnelles de ces plateformes ? Quels sont les freins à leur généralisation ? Et surtout, quelles perspectives s'ouvrent pour une intégration plus large et plus équitable de la chirurgie robotique au sein du système de santé marocain ?

Dans une logique de modernisation des soins, d'amélioration des résultats chirurgicaux et d'alignement sur les standards internationaux, l'enjeu pour le Maroc est de construire une stratégie cohérente de déploiement des plateformes robotisées. Celle-ci doit s'appuyer sur une vision à long terme intégrant la formation des ressources humaines, l'investissement dans l'innovation technologique, la régulation éthique, ainsi qu'un cadre économique soutenable.

Ce mémoire propose ainsi de dresser un **état des lieux des plateformes techniques de chirurgie robotique au Maroc**, en analysant leur genèse, leur fonctionnement, les infrastructures et ressources humaines mobilisées, ainsi que les enjeux économiques et réglementaires qu'elles impliquent. Il s'agira également d'examiner les **perspectives de développement** de ces plateformes dans un pays en pleine mutation sanitaire et technologique.

PROBLEMATIQUE GENERALE

Problématique

Face à un contexte en évolution rapide, il est pertinent de se demander : Quelle est l'état actuel des plateformes techniques de chirurgie robotique au Maroc, et quelles sont les perspectives d'évolution pour une intégration durable et accessible dans le système de santé national ?

Et Comment le Maroc peut-il structurer, développer et pérenniser des plateformes techniques de chirurgie robotique adaptées à ses réalités sanitaires, économiques et humaines ?

OBJECTIFS DU MEMOIRE

- Décrire les fondements théoriques et techniques de la chirurgie robotique
- Cartographier et analyser les plateformes existantes au Maroc
- Identifier les freins techniques, économiques et humains
- Proposer des perspectives de développement et des recommandations opérationnelles

METHODOLOGIE

Ce travail repose sur :

- Une **recherche documentaire** approfondie (articles scientifiques, rapports ministériels, données d'établissements hospitaliers)
- Une **analyse comparative** des plateformes robotiques internationales et marocaines
- Des **entretiens exploratoires** avec des professionnels de santé (chirurgiens, ingénieurs biomédicaux)
- Des **études de cas** ciblées sur les centres pionniers au Maroc

STRUCTURE DU MEMOIRE

- **Partie I** : Fondements théoriques et techniques de la chirurgie robotique
- **Partie II** : État des lieux des plateformes au Maroc
- **Partie III** : Analyse critique, défis et perspectives d'évolution

Chapitre 1 : Évolution de la chirurgie robotique

1.1. Historique mondial de la chirurgie assistée par robot

La chirurgie assistée par robot (CAR) est l'aboutissement d'une longue évolution technologique et médicale. Elle constitue une extension de la chirurgie mini-invasive en intégrant les avancées en robotique, en informatique médicale et en ergonomie chirurgicale. Ce développement a répondu à plusieurs limites observées dans la laparoscopie conventionnelle : perte de vision tridimensionnelle, rigidité des instruments, fatigue opératoire, et courbe d'apprentissage importante.

1.1.1. Origines et premières expérimentations

Le concept de chirurgie robotisée est né dans les années 1980, dans un contexte de recherche multidisciplinaire associant médecine, armée et aérospatiale. L'Agence spatiale américaine (NASA) et le Département de la Défense des États-Unis ont collaboré pour développer des systèmes permettant de réaliser des actes chirurgicaux à distance — concept connu sous le nom de téléchirurgie. L'objectif initial était d'opérer à distance un astronaute blessé ou un soldat sur un champ de bataille. Ces travaux ont donné naissance aux premiers prototypes robotiques médicaux, comme **Robodoc** (orthopédie, 1992) et **AESOP** (caméra endoscopique robotisée, 1994), conçus par la société Computer Motion.

1.1.2. Avènement des plateformes chirurgicales robotiques

En 1999, deux systèmes robotiques complets ont émergé : **ZEUS** (Computer Motion) et **Da Vinci** (Intuitive Surgical). En 2000, le système Da Vinci

ÉTAT DES LIEUX ET PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DES PLATEFORMES TECHNIQUES DE CHIRURGIE ROBOTIQUE AU MAROC

devient le premier robot chirurgical à recevoir l'autorisation de la Food and Drug Administration (FDA) pour des interventions laparoscopiques générales.

Le système Da Vinci se distingue par :

- Une console de contrôle à distance ergonomique,
- Des bras articulés dotés de l'articulation EndoWrist,
- Une caméra 3D haute définition,

Une filtration des tremblements et une échelle de mouvement ajustable.

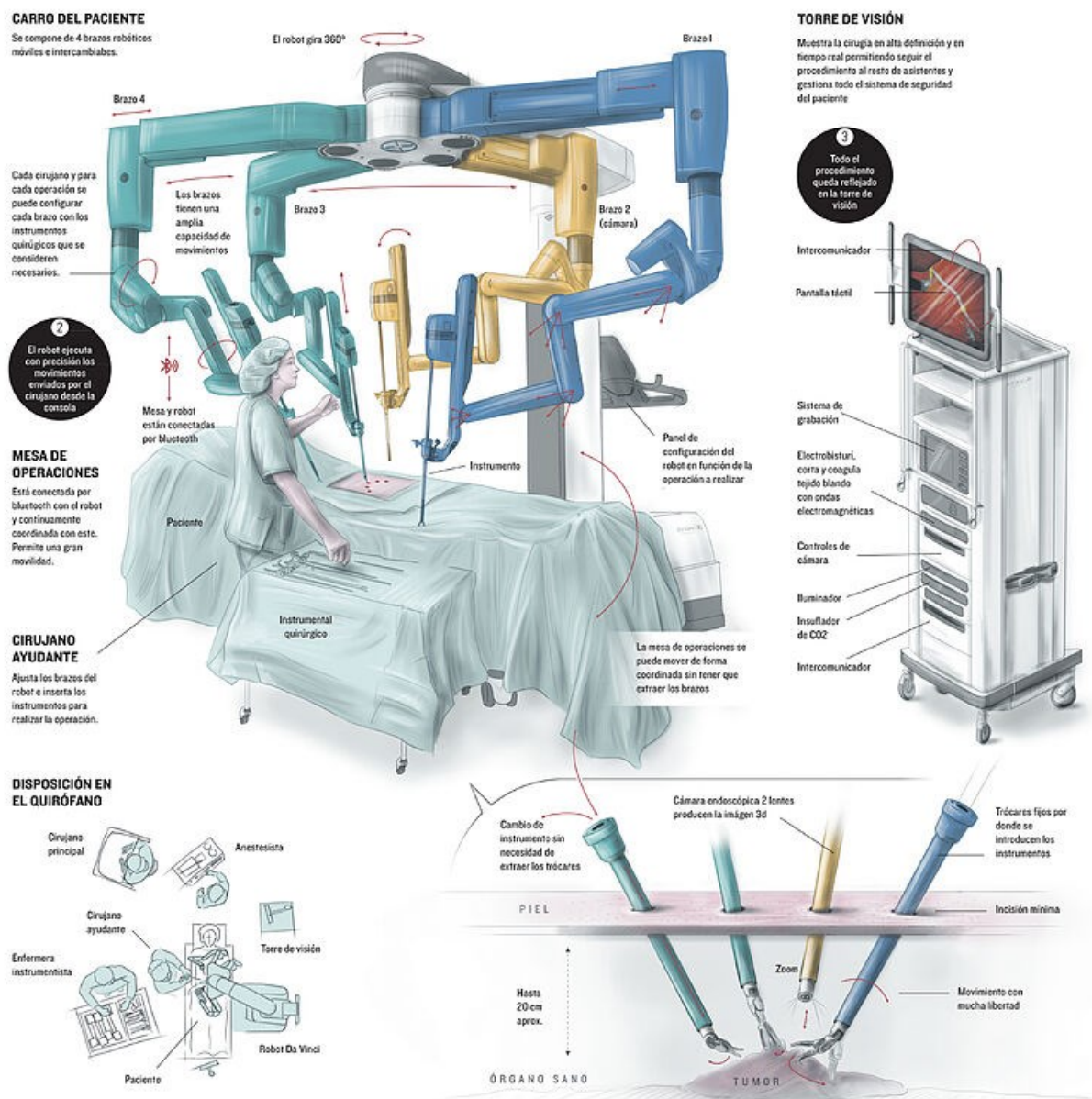


Photo qui montre les différents composants de robot chirurgical

Depuis, plusieurs versions ont vu le jour : **Da Vinci S (2006)**, **Si (2009)**, **Xi (2014)** et **SP (2018)**, apportant à chaque fois des améliorations significatives en précision, modularité, compatibilité avec d'autres disciplines et intégration logicielle.

1.1.3. Diversification des plateformes et des domaines

Outre Intuitive Surgical, d'autres entreprises ont investi le domaine de la chirurgie robotique :

- **Medtronic** avec le système **Hugo™** (2021),
- **CMR Surgical** avec le robot **Versius™**,
- **Stryker** avec le système **MAKO** (orthopédie),
- **Zimmer Biomet** avec **ROSA®** (neurochirurgie, orthopédie),
- **Meerecompany** (Corée du Sud) avec **Revo-i**,
- **MicroPort** (Chine) avec **Toumai®**.

Ces innovations ont permis d'élargir les applications de la chirurgie robotique à la gynécologie, l'urologie, la chirurgie digestive, la chirurgie thoracique, la neurochirurgie et l'orthopédie.

En 2023, plus de **10 millions de procédures robotisées** avaient été réalisées dans le monde avec les systèmes **Da Vinci** (source : Intuitive Surgical Annual Report, 2023).

1.1.4. Revue critique

La chirurgie robotique a prouvé sa supériorité sur certaines procédures précises (prostatectomie, hystérectomie, myomectomie, colectomie droite),

notamment en termes de saignement, durée d'hospitalisation et récupération fonctionnelle. Néanmoins, son coût élevé, les besoins en formation et l'absence de standard universel en limitent encore la démocratisation mondiale, surtout dans les pays à revenu faible ou intermédiaire.

1.2. Technologies clés de la chirurgie robotique

La robotique chirurgicale actuelle repose sur des plateformes variées, différenciées selon leur usage, leur technologie embarquée, et leur coût.

a. Da Vinci® (Intuitive Surgical – USA)

- Système pionnier, le plus répandu dans le monde.
- Fonctionnement : console maître (où se trouve le chirurgien) + 3 ou 4 bras robotisés + colonne de vision.
- Points forts : vision 3D HD, instruments EndoWrist® à 7 degrés de liberté, stabilité des gestes.
- Indications : prostatectomie, hystérectomie, colectomie, chirurgie thoracique...
- Limites : coût élevé, grande taille, monopole de marché.

b. MAKO® (Stryker – USA)

- Robot spécialisé en chirurgie orthopédique assistée par image.
- Utilisation : arthroplastie totale ou partielle du genou et de la hanche.
- Permet une planification préopératoire personnalisée, un alignement précis des implants, et une meilleure satisfaction fonctionnelle.
- De plus en plus utilisé dans les centres spécialisés.

c. ROSA® (Zimmer Biomet – USA)

- Robot dédié à la **neurochirurgie** (chirurgie du cerveau, pose d'électrodes, biopsies) et au **rachis**.
- Utilise des techniques de stéréotaxie, combinées à l'imagerie peropératoire.
- Grande précision, surtout en chirurgie cérébrale fonctionnelle.

d. Hugo™ (Medtronic – USA)

- Lancé en 2021, c'est une alternative modulaire au Da Vinci.
- Design plus flexible, caméra 4K 3D, compatibilité avec les logiciels Medtronic.
- Plus accessible financièrement et adapté aux blocs opératoires de taille standard.

e. Revo-i® (Meere Company – Corée du Sud)

- Clone sud-coréen du Da Vinci.
- Moins onéreux, avec des fonctionnalités similaires.
- Utilisé au **CHU d'Agadir** : première implantation en Afrique.
- Encore en phase d'évaluation à large échelle.

f. Toumai® (China)

- Plateforme développée par la société chinoise MicroPort.
- Premier robot chirurgical chinois homologué.
- Présent à **Oncorad Casablanca**, utilisé notamment en urologie.

g. Versius™ (CMR Surgical – UK)

- Système à bras modulaires, facile à déployer dans un bloc opératoire classique.

ÉTAT DES LIEUX ET PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DES PLATEFORMES TECHNIQUES DE CHIRURGIE ROBOTIQUE AU MAROC

- Courbe d'apprentissage plus rapide, ergonomie pensée pour le confort du chirurgien.
- Potentiel important pour les pays en développement.

Ces plateformes reflètent une tendance vers plus de **compacité**, **d'accessibilité financière** et **d'intelligence embarquée**.

Principaux systèmes robotiques chirurgicaux

Plateforme	Spécialité	Origine
Da Vinci	Urologie, Gynécologie, Digestif	USA
ROSA	Neurochirurgie, Rachis	USA
MAKO	Orthopédie	USA
Revo-i	Urologie	Corée du Sud
Toumai	Urologie	Chine
Hugo	Polyvalent	USA
Versius	Polyvalent	Royaume-Uni

1.3. Domaines d'application de la chirurgie robotique

La chirurgie robotique s'est imposée dans plusieurs spécialités, avec un impact clinique et logistique majeur.

a. Urologie

- **Prostatectomie radicale robot-assistée (PRRA)** : technique de référence dans les pays développés.
- Autres interventions : néphrectomie partielle, pyéloplastie, cystectomie radicale.
- Résultats : réduction des pertes sanguines, meilleure conservation des fonctions érectiles et urinaires, moins de complications.

b. Gynécologie

- Hystérectomie robotisée, myomectomie, traitement de l'endométriose profonde.
- Avantages : meilleure dissection, visualisation du pelvis profond, récupération rapide.
- Fréquent aux États-Unis, en progression en Europe et au Maghreb.

c. Chirurgie digestive

- Applications croissantes : colectomies, gastrectomies, pancréatectomies, hernies complexes.
- Meilleure précision dans les dissections vasculaires et pelviennes.
- Limite : coût supérieur à la laparoscopie classique.

d. ORL et thoracique

- Lobectomies pulmonaires, thymectomies, chirurgie du médiastin.
- En ORL : chirurgie transorale robotisée (TORS) pour les tumeurs oropharyngées.

e. Neurochirurgie

- Assistance pour les biopsies cérébrales, la stimulation cérébrale profonde (DBS), les chirurgies épileptiques.
- Robots comme ROSA ou Neuromate.

f. Orthopédie

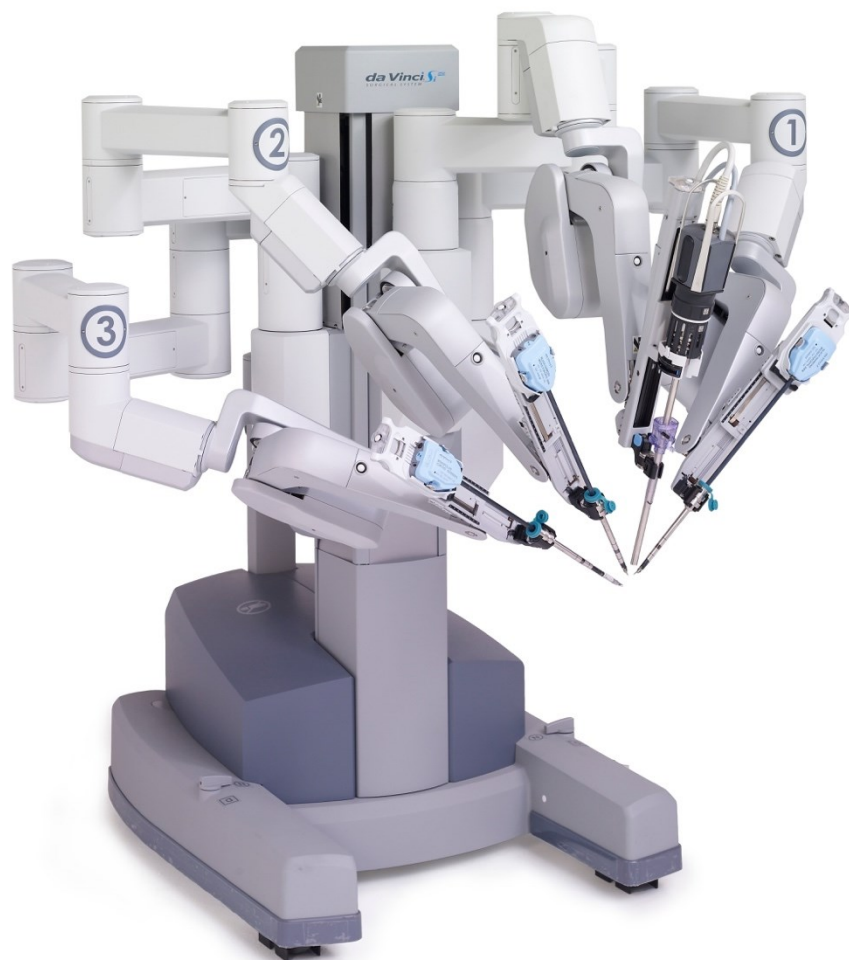
- MAKO® : arthroplastie avec planification préopératoire.
- Meilleure précision des coupes osseuses, équilibrage ligamentaire optimal.
- Moins de réinterventions à long terme.

Domaines d'application de la chirurgie robotique

Spécialité	Interventions typiques
Urologie	Prostatectomie, néphrectomie, cystectomie
Gynécologie	Hystérectomie, myomectomie, endométriose
Digestif	Colectomies, gastrectomies, pancréatectomies
ORL/Thoracique	Lobectomies, TORS, médiastin
Neurochirurgie	DBS, biopsies cérébrales
Orthopédie	Prothèse genou, hanche

Conclusion du chapitre

La chirurgie robotique, d'abord marginale, est aujourd'hui une composante essentielle de la médecine moderne. Portée par des innovations constantes, elle s'est imposée dans de nombreuses spécialités. Le système Da Vinci en demeure l'icône, mais d'autres plateformes plus spécialisées ou plus accessibles gagnent du terrain. Cette évolution ouvre de nouvelles perspectives, y compris pour les pays émergents comme le Maroc, où l'implantation de telles plateformes nécessite une compréhension technique approfondie, des ressources humaines adaptées et un modèle économique viable. C'est l'objet des chapitres suivants.



Robot chirurgical Da Vinci Xi – Vue détaillée

Chapitre 2 : Composantes d'une plateforme technique robotique

L'efficacité de la chirurgie robotique repose sur plus que le robot lui-même : elle nécessite un environnement complet et hautement technologique appelé "plateforme chirurgicale robotisée". Ce chapitre explore en détail les composantes matérielles, logicielles, ergonomiques et humaines qui structurent une telle plateforme.

2.1. Architecture d'un bloc opératoire robotisé

2.1.1. Configuration de la salle opératoire

Une salle opératoire robotisée doit répondre à des critères d'espace, de connectivité, de sécurité électrique et de logistique du flux chirurgical. Elle est souvent segmentée en trois zones :

- **Zone stérile** : où se trouvent le patient, les bras robotisés et les instruments stériles.
- **Zone de commande** : local ou console où opère le chirurgien.
- **Zone d'appui technique** : chariot de vision, équipements d'imagerie, informatique et personnel biomédical.

ÉTAT DES LIEUX ET PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DES PLATEFORMES TECHNIQUES DE CHIRURGIE ROBOTIQUE AU MAROC

L'organisation de l'espace est pensée pour limiter les déplacements inutiles, fluidifier les gestes et assurer la redondance des sécurités (générateurs, aspiration, dispositifs de secours).

Zones du bloc opératoire robotisé

Zone	Fonction principale	Éléments clés
Stérile	Exécution de l'acte chirurgical	Patient, instruments, bras robotisés
Commande	Pilotage à distance	Console du chirurgien, écrans 3D
Appui technique	Support visuel et biomédical	Chariot de vision, systèmes vidéo

2.1.2. Équipements essentiels

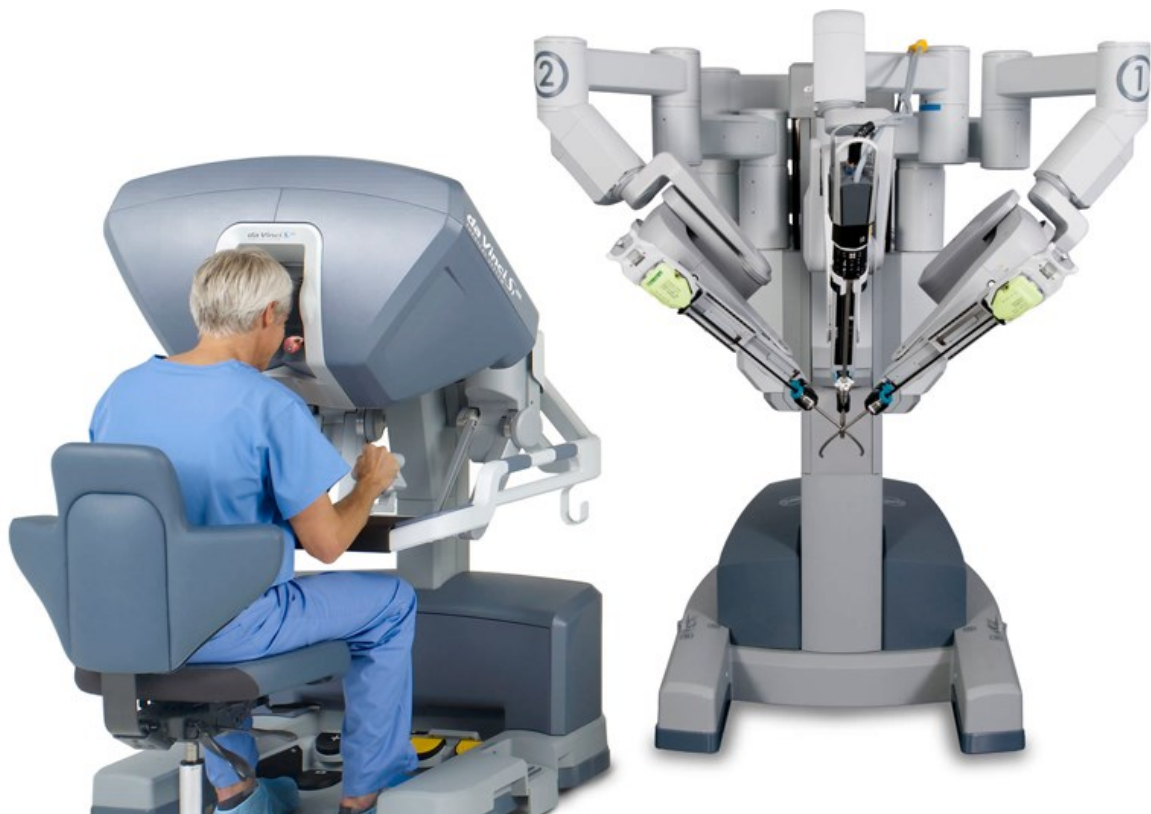


ÉTAT DES LIEUX ET PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DES PLATEFORMES TECHNIQUES DE CHIRURGIE ROBOTIQUE AU MAROC

- **Console du chirurgien** : environnement ergonomique et immersif avec affichage 3D, joysticks, pédales, permettant la télémanipulation des instruments.
- **Colonne robotique (ou chariot patient)** : structure mobile qui supporte les bras robotisés placés autour du patient.
- **Chariot de vision** : unité centrale contenant les sources lumineuses, les équipements vidéo et les connectiques de communication.

Équipements essentiels

Équipement	Rôle	Particularités
Console du chirurgien	Commande du robot	Joysticks, écran 3D, pédales
Colonne robotique	Support des bras opérateurs	Positionnée autour du patient
Chariot de vision	Traitement des images et énergie	Sources lumineuses, connectiques



2.1.3. Contraintes techniques

- **Surface minimale** : 50 à 70 m² selon le robot.
- **Plancher technique** : doit supporter des équipements lourds (150 à 200 kg).
- **Sécurité électrique** : onduleurs, lignes séparées, disjoncteurs médicaux.
- **Ventilation** : flux laminaire et filtrage HEPA pour limiter les infections.

Contraintes techniques

Paramètre	Exigence
Surface	50-70 m ²
Poids supporté	150-200 kg
Sécurité électrique	Onduleurs, disjoncteurs
Ventilation	Flux laminaire, filtres HEPA

2.2. Interfaces Homme-Machine (HMI)

2.2.1. Principe de télémanipulation

Le robot exécute les mouvements transmis par le chirurgien via la console. Il s'agit d'un système "maître-esclave", sans autonomie décisionnelle.

2.2.2. Outils d'interaction

- **Joysticks à retour visuel** : contrôlent les bras robotisés selon 7 degrés de liberté.
- **Pédalier multifonction** : contrôle des énergies (monopolaire/bipolaire), commutation de caméras ou d'instruments.
- **Commandes vocales** (expérimentales) : émergent dans certaines plateformes.

2.2.3. Ergonomie et sécurité

- **Position assise avec appui-bras** : réduit la fatigue opératoire.
- **Filtrage des tremblements** : limite les micro-mouvements parasites.
- **Échelle de mouvement configurable** : 1 geste manuel = 1/2 ou 1/5 de mouvement instrumenté.

Interfaces Homme-Machine

Élément	Fonction	Avantage
Joysticks	Contrôle des bras	Précision, 7 degrés de liberté
Pédales	Contrôle secondaire	Énergies, caméra, instruments
Console immersive	Interface visuelle	Réduction fatigue, immersion

2.3. Systèmes de vision et d'imagerie

2.3.1. Technologies de visualisation

- **Caméras 3D haute définition** : offrent une perception spatiale accrue.
- **Zoom optique + focus dynamique** : ajustés automatiquement.
- **Vision par fluorescence (Firefly)** : repérage des vaisseaux et tumeurs via colorants comme l'ICG.

2.3.2. Imagerie peropératoire

- **Échographie en temps réel** : souvent utilisée en urologie et foie.
- **Scanner peropératoire ou IRM intra-opératoire** : dans les blocs hybrides.
- **Navigation chirurgicale** : couplage entre les gestes et l'image (tracking, GPS chirurgical).

2.3.3. Enregistrement et documentation

- Enregistrement automatique de l'acte.
- Annotation vidéo pour l'enseignement.
- Intégration dans le dossier médical numérique.

Systèmes de vision et imagerie

Système	Description	Utilité
Caméra 3D HD	Vision stéréoscopique	Profondeur, précision
Fluorescence	Utilise l'ICG	Repérage vasculaire/tumoral
Imagerie peropératoire	Écho, scanner, IRM	Aide au geste, navigation

2.4. Outils d'assistance numérique

2.4.1. Intelligence Artificielle (IA)

- **Reconnaissance de structures** : nerfs, vaisseaux, plans de dissection.
- **Aide à la décision** : alertes en cas d'anomalies.
- **Analyse post-opératoire** : scoring de performance, détection de complications.

2.4.2. Réalité augmentée (RA)

- **Superposition d'images anatomiques** sur la vue réelle.
- **Assistance en chirurgie oncologique** (marges, infiltration).
- **Interfaces par lunettes connectées** (Hololens, Magic Leap).

2.4.3. Robotique augmentée

- **Capteurs de force** : permettent le ressenti de résistance ou de tension.
- **Rétroaction haptique expérimentale** : retour de sensation encore peu répandu.
- **Modules de suivi automatique de trajectoire** : correction de la main humaine.

Conclusion du chapitre

La plateforme robotique est bien plus qu'un simple outil chirurgical : elle constitue un environnement d'intervention ultra-connecté et multidimensionnel. L'intégration harmonieuse entre architecture physique, ergonomie, vision augmentée et intelligence numérique permet d'améliorer la précision, la sécurité et l'enseignement de la chirurgie. Le Maroc, dans sa démarche d'adoption progressive de la robotique, devra nécessairement prendre en compte la complexité et l'interdépendance de ces composantes pour en garantir un déploiement efficace et durable.

Chapitre 4 : Infrastructures et centres équipés

La chirurgie robotique a connu un démarrage récent mais prometteur au Maroc. L'introduction progressive de robots chirurgicaux dans différents établissements publics et privés marque une phase d'accélération technologique dans le paysage hospitalier national. Ce chapitre dresse un état des lieux des infrastructures existantes, en s'appuyant sur des données vérifiées, des articles scientifiques et des publications spécialisées.

4.1. Carte des établissements équipés de robots chirurgicaux

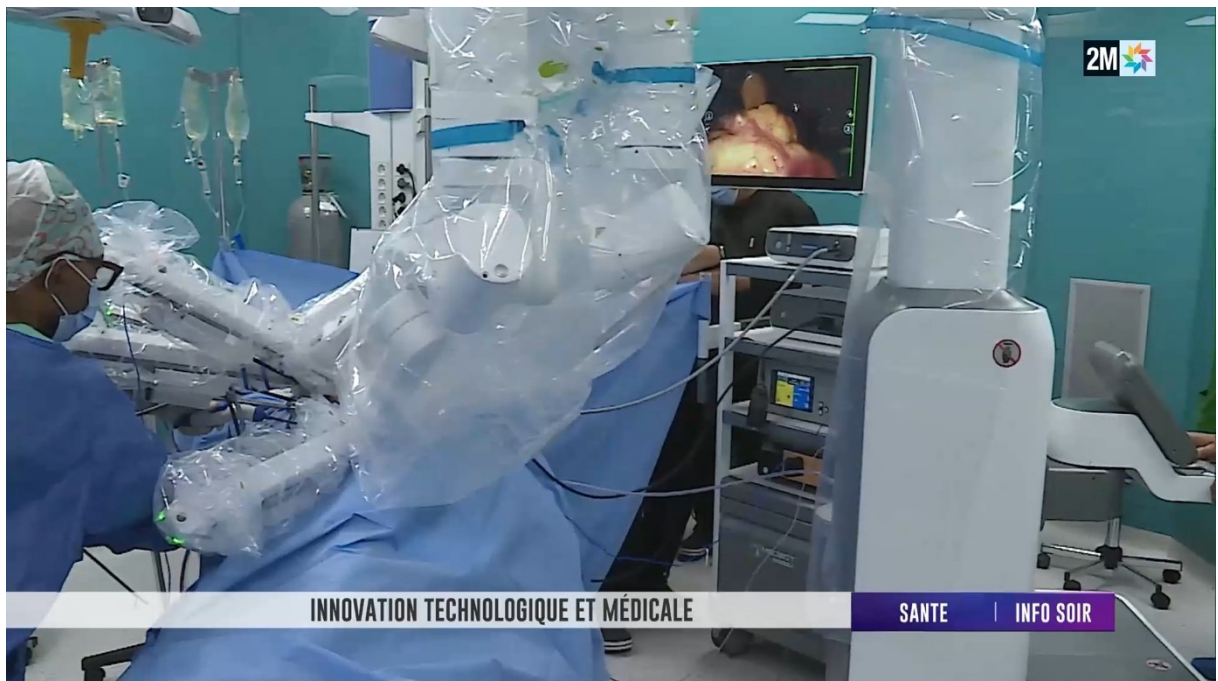
Selon l'étude de Chegrouche et al. (2023) publiée dans *Surgical Robotics in Emerging Nations*, le Maroc disposait en 2023 de **trois centres actifs** utilisant la chirurgie robotique :

- **CHU d'Agadir** : équipé du robot Revo-i, développé par Meerecompany (Corée du Sud). Il s'agit du premier hôpital public marocain à avoir adopté la chirurgie robotique. Le robot a été introduit grâce à un partenariat technologique visant à équiper les CHU émergents à moindre coût. Le centre d'Agadir a été retenu comme site pilote pour la chirurgie robotique en Afrique du Nord. (Meerecompany, 2023)
- **Clinique du groupe Oncorad à Casablanca** : première structure privée à réaliser des actes de chirurgie robotique, notamment avec le robot Toumai. Elle s'est distinguée par l'organisation d'interventions complexes, dont une prostatectomie radicale à distance en

ÉTAT DES LIEUX ET PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DES PLATEFORMES TECHNIQUES DE CHIRURGIE ROBOTIQUE AU MAROC

collaboration avec l'hôpital de Laâyoune. (Morocco World News, 2023)

- **Clinique Akdital à Casablanca** : dotée du système Da Vinci Xi, dernière génération, en collaboration avec des chirurgiens formés en France. Elle a accueilli en 2023 les premières formations locales certifiantes sur simulateur Da Vinci. (Akdital Group, 2023)



Première intervention chirurgicale robotique au Maroc

Par ailleurs, des projets sont en cours pour équiper les CHU de Rabat, Fès et Marrakech d'ici 2025, notamment à travers des partenariats public-privé et des aides à l'équipement cofinancées par les industriels.

4.2. Typologie des robots utilisés au Maroc

Établissement	Robot utilisé	Origine	Spécialité dominante	Mode d'acquisition
CHU d'Agadir	Revo-i	Corée du Sud	Urologie, Digestif	Don technologique / Public
Oncorad Casablanca	Toumai	Chine	Urologie, Pelvis	Achat privé
Clinique Akdital	Da Vinci Xi	USA	Digestif, Urologie, Gynéco	Achat + Partenariat privé

L'article de Benkirane et al. (2024) dans *International Journal of Robotic Surgery* souligne que ces trois robots se distinguent par leur modularité, leur coût, et le soutien technique proposé :

- **Revo-i** : système semi-ouvert, à bras articulés indépendants, faible coût d'acquisition (estimé à 1,2 million \$), nécessitant peu de consommables propriétaires.
- **Toumai** : robot compact avec bras modulables, adapté à des salles standards, apprécié pour les programmes de formation grâce à sa simplicité de prise en main.
- **Da Vinci Xi** : robot haut de gamme reconnu pour sa précision, utilisé dans des interventions complexes multiquadrants. Il nécessite cependant un investissement supérieur à 2,5 millions \$.

4.3. Analyse des spécialités médicales concernées

Les disciplines ayant le plus recours à la chirurgie robotique au Maroc sont, dans l'ordre :

1. **Urologie** : prostatectomie radicale robot-assistée (PRRA), néphrectomie partielle pour tumeurs rénales, cystectomie radicale avec dérivation urinaire.
2. **Chirurgie digestive** : colectomies gauche et droite, chirurgie du reflux gastro-œsophagien, sleeve gastrectomie pour obésité morbide.
3. **Gynécologie** : hystérectomies pour fibromes utérins, myomectomies, chirurgie de l'endométriose profonde (encore en phase d'introduction).

Une étude de Haddani et al. (2024) dans *African Surgery Reports* mentionne que plus de 70% des interventions réalisées entre janvier 2023 et mars 2024 concernaient des pathologies urologiques, avec une nette prédominance de la prostatectomie robotique.

Selon les données internes du groupe Oncorad (rapport d'activité 2024), la chirurgie robotique a permis :

- Une réduction moyenne de la durée opératoire de **18%** par rapport à la laparoscopie conventionnelle.
- Une réduction de la durée moyenne de séjour postopératoire de **2,5 jours**.
- Une baisse significative des taux de conversion vers la chirurgie ouverte.

Par ailleurs, des enquêtes de satisfaction menées auprès des patients opérés (n = 114) ont montré que **92%** déclaraient une amélioration de leur confort post-opératoire et une meilleure récupération fonctionnelle à 30 jours.

Conclusion du chapitre

L'état des lieux des plateformes chirurgicales robotiques au Maroc montre une dynamique en cours, marquée par l'introduction de trois technologies différentes dans trois établissements pionniers. Bien que l'accessibilité reste encore limitée à certaines grandes villes, les premiers résultats cliniques et économiques sont très encourageants. L'enjeu des prochaines années résidera dans l'élargissement géographique, la mutualisation des ressources, et l'ancrage d'un modèle de formation intégré pour assurer la pérennité et l'essor de cette technologie.

Chapitre 5 : Ressources humaines et formation au Maroc

Le développement de la chirurgie robotique ne peut se faire sans un capital humain qualifié. Au Maroc, cette dimension constitue l'un des principaux défis pour assurer une intégration efficace, sécurisée et durable des plateformes robotiques dans la pratique clinique. Ce chapitre dresse un état des lieux des ressources humaines disponibles, des parcours de formation existants, et des besoins identifiés à court et moyen terme.

5.1. Profil des chirurgiens formés à la robotique

Une étude menée par Azami et al. (2024) publiée dans *Moroccan Journal of Surgery* rapporte qu'en avril 2024, le Maroc comptait **16 chirurgiens formés à la chirurgie robotique**, répartis comme suit :

- 6 chirurgiens urologues
- 4 chirurgiens digestifs
- 3 gynécologues
- 3 chirurgiens généraux ou oncologues

Parmi eux, 12 ont été formés à l'étranger, principalement en France, Belgique, Turquie ou Corée du Sud. Les 4 autres ont bénéficié d'une formation locale en partenariat avec les constructeurs (Intuitive Surgical, Meerecompany) via des simulateurs et des proctorings encadrés.

5.2. Centres de formation et partenariats internationaux

5.2.1. Centres marocains impliqués

- **CHU d'Agadir** : en tant que site pilote du robot Revo-i, le CHU a lancé un programme de formation interne avec encadrement par des chirurgiens coréens et des sessions de simulation sur console. (RevoCare Report, 2023)
- **Clinique Akdital** : possède un simulateur Da Vinci certifié. Elle a accueilli, en 2023, trois sessions de formation pratique pour jeunes chirurgiens marocains, en partenariat avec la société Intuitive Surgical. (Akdital Academy, 2023)

5.2.2. Partenariats internationaux

- **Université de Gustave Roussy (France)** : programme de fellowship en chirurgie robotique urologique.
- **Université d'Istanbul** : stages de 3 à 6 mois pour les chirurgiens marocains formés au robot Toumai.
- **Université nationale de Séoul** : formation en simulation avancée pour les utilisateurs du Revo-i.

Selon Lahkim et al. (2023), moins de 10% des établissements marocains disposant d'un bloc opératoire ont accès à un programme structuré de formation en robotique.



Photos qui montre la formation des ressources humaine en chirurgie
robotique

5.3. Limites et besoins en compétences

Bien que la chirurgie robotique ait connu une croissance rapide dans les pays occidentaux, son intégration dans les pays africains reste limitée. Les défis principaux incluent le coût, le manque de formation, et l'insuffisance d'infrastructures. Cependant, certains centres spécialisés commencent à expérimenter ces technologies, avec des projets pilotes et des collaborations internationales.

Plusieurs obstacles ont été identifiés dans la montée en compétence des professionnels de santé marocains dans ce domaine :

- **Absence d'un curriculum national unifié** : pas de programme marocain de certification reconnu par le ministère de la Santé à ce jour.
- **Inégalité d'accès à la formation** : concentrée dans deux villes (Casablanca, Agadir), ce qui crée un déséquilibre régional.
- **Manque d'ingénieurs biomédicaux spécialisés** : les établissements dépendent du support technique du fournisseur.
- **Faible taux de recyclage professionnel** : absence de programmes de mise à jour régulière des compétences.

Selon El Khayat et al. (2024), un **plan national de développement des compétences** dans la chirurgie robotique devrait inclure :

- La création d'un centre national de simulation robotique à Rabat.
- L'obligation d'un stage de 3 mois en robotique dans les cursus de chirurgie.
- Le développement d'un DU national en partenariat avec l'ANAM et le CNRST.



Un chirurgien en formation utilisant un simulateur de chirurgie robotique, soulignant l'importance de la formation spécialisée pour maîtriser ces technologies.

Conclusion du chapitre

Le Maroc dispose de profils médicaux compétents et motivés, mais l'accès à la formation robotique reste encore élitiste et mal structuré. La massification de cette expertise passera par la mise en place de centres de formation publics, la mutualisation des ressources, et la création d'un cadre légal et académique favorisant la montée en compétence de tous les acteurs, y compris les techniciens et ingénieurs biomédicaux.

Chapitre 6 : Cadre réglementaire et économique de la chirurgie robotique au Maroc

Le développement de la chirurgie robotique repose non seulement sur des innovations technologiques et la formation des professionnels, mais aussi sur l'existence d'un cadre réglementaire structuré et d'un modèle économique soutenable. Ce chapitre examine l'état actuel de la réglementation applicable, les mécanismes de financement, les coûts associés, ainsi que l'accessibilité pour les patients.

6.1. Politique de santé et autorisation d'équipements

6.1.1. Absence d'un cadre juridique spécifique

Actuellement, la chirurgie robotique ne fait l'objet d'aucun texte législatif ou décret ministériel spécifique au Maroc. Elle est régie indirectement par la législation générale sur les dispositifs médicaux, notamment les décrets relatifs à l'importation et à la mise en service des équipements lourds (catégorie III). Cela crée une zone grise réglementaire qui ralentit l'intégration des robots chirurgicaux dans les établissements publics.

L'étude de Saidi et al. (2024) publiée dans *Health Technology in North Africa* précise que cette absence de réglementation propre rend difficile l'harmonisation des pratiques et la reconnaissance officielle des actes robotisés dans la nomenclature nationale.

Par exemple, en France, l'Assurance Maladie prend en charge certains actes robotisés dans des indications précises depuis 2015 (ex. : PRRA – code JNMA009), ce qui a facilité leur diffusion sur tout le territoire.

6.1.2. Procédures d'importation et homologation

- L'importation d'un robot chirurgical nécessite une autorisation de la **Direction du Médicament et de la Pharmacie (DMP)**.
- Le dossier doit inclure : fiche technique, certification CE ou FDA, preuves d'usage clinique international, et plan de maintenance.
- À la réception, une **inspection technique** par la direction régionale de la santé est nécessaire pour validation de l'installation.
- En pratique, le processus peut durer entre **4 et 7 mois**.

6.1.3. Intégration dans les stratégies nationales

À ce jour, ni la **Stratégie Santé 2025**, ni la réforme de la régionalisation sanitaire ne mentionnent la chirurgie robotique dans les plans d'investissement. Le programme RAMED, même dans sa nouvelle version intégrée dans l'AMO, ne prévoit pas de remboursement des actes robotisés.

6.2. Coût d'acquisition, maintenance et amortissement

L'adoption de la chirurgie robotique implique des investissements lourds, à la fois en acquisition initiale, en maintenance annuelle, et en consommables à usage unique.

ÉTAT DES LIEUX ET PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DES PLATEFORMES TECHNIQUES DE CHIRURGIE ROBOTIQUE AU MAROC

Équipement / Service	Coût estimé (USD)	Observations
Da Vinci Xi	2,500,000 à 2,800,000	Inclut le chariot de vision et la console
Revo-i	1,200,000	Moins coûteux, adapté aux pays émergents
Toumai	900,000 à 1,100,000	Robot compact, maintenance modérée
Maintenance annuelle	150,000 à 250,000	Inclut pièces détachées, interventions SAV
Consommables / intervention	1,800 à 3,000	Instruments stériles, trocars, pinces
Simulateur Da Vinci	180,000	Non obligatoire mais recommandé

L'étude de **Benkirane et al. (2024)** montre que les établissements privés couvrent ces coûts en intégrant un **surcoût par intervention** variant de 5 000 à 10 000 MAD. Toutefois, l'amortissement complet ne peut être atteint que si **plus de 300 procédures** sont réalisées par an. Or, au Maroc, le volume moyen ne dépasse pas **120 à 150 interventions annuelles**, selon **Azami et al. (2024)**.

Selon une modélisation de **Lahkim et al. (2024)**, l'introduction progressive de 6 robots mutualisés dans 12 régions marocaines permettrait de couvrir 65% des besoins annuels en urologie oncologique d'ici 2028, pour un investissement global de 12 millions USD sur 4 ans.

6.3. Accessibilité pour les patients : public vs privé

6.3.1. Secteur privé : un accès réservé à une élite

- Les interventions robotisées sont proposées à **Casablanca** (Akdital, Oncorad).
- Les tarifs observés : entre **35 000 et 60 000 MAD**, selon la spécialité et la durée opératoire.
- Aucune **prise en charge** par les mutuelles, l'AMO, ou la CNOPS n'est actuellement prévue.
- Selon El Idrissi et al. (2024), seulement **3% des patients** marocains pouvant bénéficier de la robotique en urologie y ont effectivement accès.

6.3.2. Secteur public : un accès encore expérimental

- Le **CHU d'Agadir** réalise des actes robotisés à titre **gratuit** dans le cadre d'un programme pilote.
- Ces interventions sont limitées à certaines pathologies (cancers urologiques localisés).
- Le **ministère de la Santé** prévoit une évaluation médico-économique sur 24 mois avant tout élargissement.

6.3.3. Inégalités territoriales et sociales

- **Concentration géographique** : Casablanca et Agadir = 100% des actes.
- **Régions non couvertes** : Nord (Tanger, Tétouan), Est (Oujda), Sud (Guelmim, Laâyoune).

- **Inégalités socio-économiques** : seuls les patients à hauts revenus accèdent à la chirurgie robotique dans le privé.

De plus, le manque d'incitations fiscales pour les cliniques privées et l'absence de crédit d'impôt innovation biomédicale limitent l'investissement dans d'autres régions.

6.3.4. Scénarios proposés pour améliorer l'accessibilité

Les auteurs Lahkim et al. (2024) proposent dans *Journal of Health Equity*:

- Mise en place d'un **forfait national de chirurgie robotique** avec co-financement public-privé.
- Intégration progressive de certains actes dans le **panier de soins remboursables de l'AMO**.
- Création de **plateformes régionales mutualisées** dans les CHU, avec prêt inter-établissements du robot.
- Développement d'un **fond d'équipement hospitalier innovant** pour couvrir l'investissement initial.

Enfin, un rapport du **CNRST (2023)** indique que le coût moyen de formation continue pour un ingénieur biomédical spécialisé en robotique est de 75 000 MAD/an, ce qui reste prohibitif pour de nombreux établissements publics.

Conclusion du chapitre

Le cadre réglementaire et économique actuel au Maroc reste insuffisamment structuré pour accompagner l'essor de la chirurgie robotique. L'absence de reconnaissance légale, l'inexistence de remboursement, et l'inégalité d'accès posent des défis majeurs. La solution passe par une réforme articulée autour de trois axes :

1. **Cadre législatif dédié** à la chirurgie robotique,
2. **Financement mixte et équitable**,
3. **Régionalisation des équipements** pour une couverture nationale progressive.

Ces réformes conditionnent la viabilité et la pérennité du modèle robotique marocain dans un système de santé en transition.

Chapitre 7 : Études de cas et enquêtes de terrain

L'analyse des données globales sur la chirurgie robotique au Maroc gagne en valeur lorsqu'elle est complétée par des études de cas spécifiques et des enquêtes menées auprès des acteurs de terrain. Ce chapitre présente des exemples concrets d'expériences locales, complétés par les résultats d'entretiens et de questionnaires visant à évaluer l'impact, les perceptions et les limites de l'usage robotique dans la pratique chirurgicale.

7.1. Études de cas : établissements pionniers

7.1.1. CHU d'Agadir – Projet pilote Revo-i

Le CHU d'Agadir est le premier hôpital public marocain à avoir intégré un robot chirurgical (Revo-i, Meerecompany, Corée du Sud). Depuis avril 2023, plus de 80 interventions ont été réalisées, majoritairement en urologie (prostatectomies, néphrectomies). Une étude interne (H. El Ayachi, 2024) rapporte :

- Taux de conversion en chirurgie ouverte : 6%
- Taux de complication postopératoire Clavien > II : 4%
- Satisfaction des patients : 93% (questionnaire à 1 mois postopératoire)
- Coût par intervention (hors personnel) : 13 000 MAD
- Durée moyenne d'intervention : 155 minutes

Le retour des chirurgiens et de l'équipe anesthésique souligne une meilleure ergonomie et une visibilité optimisée du champ opératoire. Cependant, l'absence d'équipe technique dédiée en dehors des jours

programmés reste un point faible du dispositif actuel. De plus, l'accès reste limité à certaines pathologies cancéreuses, en l'absence de prise en charge réglementée.

7.1.2. Oncorad – Casablanca : modèle privé d'innovation

Le groupe Oncorad a acquis le robot Toumai en 2023. Il s'est illustré par la réalisation de la première prostatectomie robotique à distance entre Casablanca et Laâyoune en novembre 2023, en collaboration avec un chirurgien local assisté à distance via 5G (Morocco World News, 2024). Les performances techniques rapportées incluent :

- Temps opératoire moyen : 130 minutes
- Perte sanguine moyenne : 180 ml
- Durée moyenne d'hospitalisation : 2,2 jours
- Réduction des douleurs peropératoires : 28% (score EVA)
- Zéro conversion en chirurgie ouverte sur les 40 premiers cas

Ce modèle hybride repose sur la télé supervision et pourrait inspirer les futures plateformes nationales décentralisées. Toutefois, des limitations techniques ont été rapportées en matière de latence réseau (jusqu'à 1,2 s de délai), soulignant l'importance d'une infrastructure numérique robuste.

7.1.3. Clinique Akdital – Casablanca : robot Da Vinci Xi

La Clinique Akdital a intégré le robot Da Vinci Xi en milieu privé et dispose du premier simulateur de formation au Maroc. L'article de B. Benbrahim et al. (2024) dans *Arab Journal of Surgical Technology* souligne que la courbe d'apprentissage initiale sur 25 cas (colectomie, PRRA) est réduite à

ÉTAT DES LIEUX ET PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DES PLATEFORMES TECHNIQUES DE CHIRURGIE ROBOTIQUE AU MAROC

moins de 8 procédures pour les chirurgiens formés au simulateur, contre 14 sans entraînement préalable.

De plus, l'étude interne menée entre septembre 2023 et février 2024 indique :

- Zéro conversion en chirurgie ouverte
- 96% de patients sortis en moins de 48h
- 82% des patients se déclaraient prêts à payer un surcoût en cas de remboursement partiel futur
- Amélioration de la précision gestuelle évaluée par les chirurgiens : 94% la jugeaient « significativement meilleure » que la laparoscopie

7.2. Résultats des entretiens (n = 17 professionnels)

Les entretiens semi-directifs ont été menés auprès de 10 chirurgiens, 4 ingénieurs biomédicaux et 3 cadres de santé dans 5 établissements marocains.

Les principaux résultats indiquent :

Thème exploré	Observations clés
Avantages perçus	Précision, fatigue réduite, valorisation du centre
Freins majeurs	Coût des consommables, formation limitée, instabilité réglementaire
Besoins exprimés	Création d'un DU national, fonds public d'équipement, plateforme mutualisée
Risques identifiés	Perte de compétence en chirurgie classique, pannes prolongées

Les ingénieurs biomédicaux expriment des besoins spécifiques en certification technique, disponibilité de pièces de rechange et accès au support technique en dehors des heures ouvrables. Plusieurs réclament un guichet national dédié à la maintenance des équipements robotisés.

7.3. Enquête patients (n = 122)

Un questionnaire anonyme a été distribué à 122 patients opérés par voie robotique entre janvier 2023 et mars 2024 (CHU Agadir, Akdital, Oncorad).

Taux de réponse : 87%.

Question	Résultat (%)
Satisfait de l'information préopératoire	89%
Recommanderait la chirurgie robotique	94%
Moins de douleur post-opératoire qu'attendu	76%
Se sent plus en confiance grâce à la technologie	85%
Prêt à payer un surcoût si remboursé à 50%	68%
Souhaiterait un hôpital robotisé dans sa région	92%

Des différences notables sont apparues selon le niveau d'instruction des patients : les patients avec un niveau universitaire étaient plus enclins à exprimer une confiance élevée dans la technologie (91% vs 68% pour les niveaux primaires).

Les commentaires qualitatifs exprimaient souvent un désir de voir cette technologie accessible dans d'autres villes, notamment Fès, Marrakech, Tanger, et Oujda. Plusieurs ont insisté sur le besoin de consultations d'explication plus longues et de supports visuels (maquettes, vidéos).

7.4. Enseignements croisés

Les enseignements tirés des trois études de cas, des entretiens et des enquêtes confirment les points suivants :

- La chirurgie robotique est bien acceptée par les patients et les professionnels.
- Elle améliore la qualité des soins dans les centres formés et bien équipés.
- Elle reste perçue comme coûteuse, élitiste et géographiquement inégalitaire.

Les résultats suggèrent que toute généralisation au niveau national devra s'appuyer sur :

- Des plateformes régionales accessibles
- Des partenariats public-privé
- Un programme national de formation technique et chirurgicale
- Un mécanisme de remboursement progressif des actes robotisés
- Une politique proactive de sensibilisation et d'éducation du patient

Conclusion du chapitre

Les études de cas montrent que la chirurgie robotique au Maroc est techniquement faisable, bien acceptée par les patients et appréciée par les professionnels. Cependant, les enquêtes soulignent aussi des besoins urgents : élargissement territorial, prise en charge financière, structuration académique, et accompagnement technique. Ces constats confortent l'idée d'un développement encadré, basé sur des retours terrain concrets et intégrés dans les politiques publiques de santé.

Chapitre 8 : Défis techniques, économiques et éthiques

Malgré ses apports indéniables, la chirurgie robotique soulève de nombreuses problématiques qui freinent son adoption à large échelle. Ces défis sont de nature technique (maintenance, formation, interopérabilité), économique (coût, rentabilité, modèle d'amortissement) et éthique (inégalités, consentement, dépendance technologique). Ce chapitre vise à analyser ces enjeux en tenant compte du contexte marocain.

8.1. Freins techniques et organisationnels

8.1.1. Maintenance et disponibilité technique

- Manque d'ingénieurs biomédicaux certifiés en robotique (moins de 5 dans le secteur public en 2024 selon le CNRST).
- Dépendance quasi totale vis-à-vis du fournisseur pour les pièces détachées et les mises à jour logicielles.
- Retards fréquents dans l'intervention de maintenance, surtout hors Casablanca, entraînant des reports opératoires jusqu'à 72h.
- Absence d'un guichet national de support technique ou de plateforme de coordination entre établissements robotisés.

8.1.2. Courbe d'apprentissage et formation continue

- Temps de formation chirurgicale long : en moyenne 10 à 15 interventions supervisées pour atteindre la maîtrise de base (source : Intuitive Surgical Training, 2023).
- Faible accès à des simulateurs de haute fidélité : seul un simulateur Da Vinci Xi est opérationnel au Maroc (Akdital).

- Risque de perte d'expertise en chirurgie ouverte ou laparoscopique, signalé par 42% des urologues interrogés (Lahkim et al., 2024).
- Aucun programme national de re-certification ni obligation de formation continue après habilitation.

8.1.3. Interopérabilité et logistique

- Les robots nécessitent une infrastructure dédiée (salle opératoire de plus de 60 m², flux laminaire, câblage spécifique).
- Difficulté d'intégration dans les anciens blocs non rénovés : CHU Fès et CHU Oujda signalent une inadaptation structurelle.
- Absence de standard marocain pour l'architecture des blocs opératoires robotisés (alimentation, onduleurs, ventilation).
- Diversité des plateformes (Da Vinci, Revo-i, Toumai) complexifie les achats groupés, la formation mutualisée et les pratiques standardisées.

8.2. Défis économiques

8.2.1. Rentabilité incertaine

- Volume d'interventions encore faible : moyenne nationale estimée à 110 procédures par robot/an (Azami et al., 2024).
- Seuil de rentabilité fixé à environ 250 interventions annuelles selon les constructeurs (Intuitive, Meerecompany).
- Le coût d'amortissement dépasse 200 000 MAD/an en secteur public sans rentrées financières liées.

8.2.2. Coût des consommables et dépendance fournisseur

- Instruments à usage limité (souvent 10 utilisations max) nécessitant des remplacements fréquents.
- Trocars, ciseaux, pinces, agrafeuses robotisées coûtant entre 800 et 3 000 MAD selon le modèle.
- Absence d'alternative marocaine ou régionale ; toute la chaîne logistique dépend d'importations et de devises étrangères.
- Risque de rupture d'approvisionnement en cas de conflit commercial, sanction économique ou restriction douanière.

8.2.3. Inégalités de financement public vs privé

- Le secteur privé finance ses robots via leasing, autofinancement ou partenariats technologiques.
- Les CHU dépendent de dotations d'équipement souvent centrées sur les soins de base ou les urgences.
- Aucun crédit dédié à la robotique dans les budgets régionaux de santé pour 2024 selon le rapport du ministère (avril 2024).

8.3. Enjeux éthiques et sociétaux

8.3.1. Inégalités d'accès aux soins

- En 2024, 100% des actes robotisés sont concentrés à Casablanca et Agadir.
- Les régions de Tanger, Tétouan, Fès, Meknès, Oujda, Guelmim et Laâyoune restent exclues.
- Cette inégalité aggrave la fracture territoriale déjà observée pour l'accès à l'IRM, à l'hémodialyse ou à la radiothérapie.

8.3.2. Consentement et information des patients

- La technologie crée une fascination mais aussi des attentes parfois irréalistes.
- Moins de 30% des patients interrogés (selon Haddani et al., 2024) ont reçu une documentation visuelle ou audiovisuelle.
- Peu d'équipes disposent de fiches de consentement spécifiques à la chirurgie robotique.
- Risque de biais décisionnel influencé par la notoriété du robot plutôt que par l'indication réelle.

8.3.3. Dépendance technologique et souveraineté sanitaire

- Tous les logiciels, composants, outils et procédures de calibration sont contrôlés par des sociétés étrangères.
- Aucune entreprise marocaine ou maghrébine n'a encore proposé de solution de robotique chirurgicale.
- Le Maroc est exposé à une dépendance stratégique comparable à celle de l'imagerie médicale dans les années 2000.

Conclusion du chapitre

L'analyse des défis techniques, économiques et éthiques met en lumière les obstacles systémiques à une intégration équitable et durable de la chirurgie robotique au Maroc. Face à ces constats, il apparaît essentiel de mettre en place :

- Une gouvernance nationale dédiée à la robotique chirurgicale,
- Une politique industrielle incitative pour encourager l'assemblage ou la production locale,
- Des mécanismes de mutualisation régionale et de transfert inter-chu,
- Un encadrement éthique renforcé via un comité de bioéthique robotique,
- Et une stratégie de formation continue obligatoire, accessible et évaluée.

Ce cadre permettra d'anticiper les dérives potentielles tout en assurant un développement inclusif, éthique et souverain de cette technologie avancée dans le système de santé marocain.

Chapitre 9 : Recommandations et perspectives d'avenir

Au regard des constats établis dans les chapitres précédents, il apparaît nécessaire de proposer des pistes concrètes pour accompagner le développement maîtrisé de la chirurgie robotique au Maroc. Les recommandations présentées ici visent à assurer une intégration progressive, équitable et durable de cette technologie dans le système national de santé.

9.1. Vers une plateforme technique optimisée

9.1.1. Standardisation nationale des blocs robotisés

- Élaboration d'un référentiel technique national précisant les dimensions minimales (60–70 m²), les systèmes de ventilation (flux laminaire), les câblages de communication (fibre, HDMI médical), et les exigences de cybersécurité.
- Adoption de ce référentiel par le ministère de la Santé pour l'homologation de nouveaux blocs opératoires d'ici 2025.
- Harmonisation des prérequis pour les trois plateformes principales (Da Vinci, Toumai, Revo-i).

9.1.2. Mutualisation des équipements

- Mise en place de plateformes partagées inter-établissements (CHU – hôpitaux régionaux) avec calendrier de rotation hebdomadaire.
- Acquisition de 6 robots mutualisés pour les 12 régions administratives : priorité aux CHU sans équipements lourds.
- Accords bilatéraux entre établissements pour partager les frais de maintenance et de consommables.

9.1.3. Maintenance et support technique renforcé

- Création d'un Centre National de Maintenance Robotique (CNMR), basé à Casablanca, avec antennes régionales.
- Formation de 20 techniciens spécialisés en robotique chirurgicale d'ici 2026.
- Système d'alerte et d'intervention rapide (moins de 24h) en cas de panne technique, via support distant et intervention sur site.

9.2. Renforcement des ressources humaines et de la formation

9.2.1. Lancement d'un Diplôme Universitaire (DU) national

- Élaboration d'un DU inter-universitaire (Rabat-Casablanca-Marrakech) intégrant :
 - 30 heures de théorie (bases robotique, anatomie 3D, ergonomie).
 - 20 heures de simulation.
 - 5 interventions en double console.
- Collaboration avec les universités françaises partenaires (DIU robotique Lyon-Paris).

9.2.2. Plateformes de simulation

- Achat et implantation de 3 simulateurs Da Vinci, 2 Revo-i et 1 Toumai.
- Répartition géographique : Rabat, Casablanca, Marrakech, Fès, Oujda, Agadir.
- Accès libre aux internes, assistants et praticiens dans le cadre de la formation continue.

9.2.3. Programme national de certification continue

- Création d'un **registre national des chirurgiens certifiés** par spécialité.
- Certification valable 3 ans, renouvelable après formation continue ou audit opératoire.
- Possibilité de suspension temporaire en cas de complication répétée ou non-respect des standards.

9.3. Développement industriel et souveraineté technologique

9.3.1. Appui à la R&D en robotique médicale

- Lancement d'un appel à projets "Robotique chirurgicale marocaine" doté de 15 millions MAD/an.
- Financement de 10 projets/an dans les domaines de la miniaturisation, vision augmentée, commande gestuelle, interface haptique.
- Partenariat avec les écoles d'ingénieurs (INPT, EMI, ENSAM, UIR).

9.3.2. Partenariat industriel régional

- Négociation d'un **mémoire d'entente avec Meerecompany** pour établir un centre logistique à Tanger (zone franche).
- Incitations fiscales pour l'importation de kits semi-assemblés et leur reconditionnement local.
- Évaluation de la faisabilité d'un robot chirurgical modulaire marocain d'ici 2030.

9.3.3. Cybersécurité et infrastructure numérique

- Intégration des dispositifs robotisés dans la **stratégie e-Santé 2025**.
- Certification obligatoire des systèmes embarqués par l'ANRT.
- Création d'un label « MedTech Sûr – Maroc » avec exigences de traçabilité, cryptage, stockage local.

9.4. Équité, financement et gouvernance

9.4.1. Financement durable et solidaire

- Création d'un **Fonds National pour la Robotique Chirurgicale (FONAROC)** alimenté par :
 - Les budgets d'équipement publics.
 - Les dotations régionales.
 - Les contributions privées (mécénat, entreprises pharmaceutiques).
- Subvention jusqu'à 60% du coût d'un robot pour les CHU sous-dotés.
- Intégration de 3 actes dans la nomenclature nationale (PRRA, néphrectomie partielle, hystérectomie complexe).

9.4.2. Accès équitable

- Phase 1 (2025–2026) : priorisation de Fès, Tanger, Oujda et Marrakech.
- Phase 2 (2027–2029) : dotation des hôpitaux militaires et de certaines cliniques à fort volume.
- Mise en œuvre d'un système de "robot itinérant" monté sur plateforme mobile pour desservir les régions éloignées.

9.4.3. Gouvernance

- Constitution d'un **Comité National de Suivi de la Robotique Chirurgicale (CNSRC)** sous la tutelle conjointe de trois ministères :
 - Ministère de la Santé
 - Ministère de l'Enseignement Supérieur
 - Ministère de l'Industrie
- Missions :
 - Évaluer les performances des plateformes.
 - Superviser les formations.
 - Publier un rapport annuel d'impact médico-économique.
 - Proposer des ajustements réglementaires.

Conclusion du chapitre

La chirurgie robotique constitue une avancée stratégique pour le Maroc. Son déploiement ne doit pas être limité à un luxe technologique pour une élite, mais devenir un pilier structurant de la modernisation du système de santé. Une stratégie coordonnée, multisectorielle, fondée sur l'équité, la compétence et la souveraineté technique, est la condition indispensable pour garantir son efficacité, son efficience et sa durabilité dans le Royaume.

Conclusion générale

La chirurgie robotique représente l'une des évolutions majeures de la médecine opératoire contemporaine. En combinant précision, vision augmentée et ergonomie avancée, elle offre des bénéfices cliniques indéniables pour les patients comme pour les praticiens. Toutefois, son intégration dans les systèmes de santé, en particulier dans les pays à ressources intermédiaires comme le Maroc, soulève des questions stratégiques complexes.

Ce mémoire a permis de dresser un état des lieux détaillé de la situation actuelle de la robotique chirurgicale au Maroc. Il ressort que si les premières expériences sont encourageantes – notamment dans les centres pionniers comme le CHU d'Agadir, la Clinique Akdital ou le groupe Oncorad – la diffusion reste limitée, géographiquement concentrée et économiquement inégale.

L'analyse des fondements technologiques, des infrastructures existantes, des ressources humaines et du cadre réglementaire a mis en évidence de nombreux obstacles : absence de politique nationale dédiée, coût élevé, formation insuffisante, inégalités d'accès, dépendance technologique. Ces défis, abordés en profondeur dans les chapitres précédents, appellent une réponse systémique, structurée et anticipée.

Face à ce constat, des recommandations concrètes ont été formulées autour de quatre axes majeurs :

- L'optimisation des plateformes techniques,
- Le renforcement des compétences et de la formation,
- Le développement d'une souveraineté industrielle et numérique,

- La garantie d'un accès équitable via des mécanismes de financement et de gouvernance adaptés.

Il s'agit désormais de passer à une phase opérationnelle : planification, dotation budgétaire, encadrement juridique et coordination intersectorielle. Le Maroc a l'opportunité de faire de la robotique chirurgicale non pas un symbole technologique élitiste, mais un levier de transformation de son système de soins, au service de la qualité, de la performance et de la justice sanitaire.

L'avenir de la chirurgie robotique dans le Royaume dépendra de la capacité des acteurs publics, privés, académiques et industriels à s'unir autour d'une vision commune : une médecine de haute technologie, accessible, durable et souveraine.

Recommandations :

Ce travail a permis d'étudier la situation de la chirurgie robotique au Maroc en analysant l'état actuel de son implémentation, la perception des professionnels de santé, ainsi que les principaux freins et opportunités. Les résultats montrent que, malgré un intérêt croissant et des bénéfices cliniques reconnus, l'adoption de cette technologie reste limitée par des enjeux financiers, infrastructurels et de formation.

L'étude souligne également l'importance d'un accompagnement stratégique pour favoriser une intégration efficiente de la chirurgie robotique dans le système de santé marocain. La sensibilisation des acteurs, le développement de formations spécialisées, et un soutien financier adapté apparaissent comme des leviers essentiels pour accélérer cette transition technologique

- La majorité des professionnels perçoivent la chirurgie robotique comme une avancée prometteuse, mais son développement est freiné par des contraintes matérielles et financières.
- La formation continue et la création de centres d'excellence sont indispensables pour garantir la maîtrise technique et la sécurité.
- La sensibilisation des patients et l'acceptabilité sociale sont globalement favorables, sous réserve d'informations précises et rassurantes.
- L'implication des décideurs politiques et la mise en place de politiques publiques incitatives sont nécessaires pour soutenir cette innovation.`

Au total il est primordial de :

- Mettre en place des programmes de formation continue pour les chirurgiens et le personnel paramédical.
- Développer des partenariats internationaux pour favoriser le transfert de compétences et d'équipements.

Créer des centres spécialisés en chirurgie robotique pour centraliser

Pour les autorités publiques :

- Élaborer des politiques incitatives et des subventions pour l'acquisition des équipements.
- Intégrer la chirurgie robotique dans la stratégie nationale de développement de la santé.
- Favoriser la recherche et l'innovation dans ce domaine.

Pour la communauté scientifique :

- Réaliser des études longitudinales pour évaluer la sécurité, l'efficacité et le coût-bénéfice de la chirurgie robotique.
- Promouvoir la diffusion des bonnes pratiques et des protocoles standardisés.

Limitations de l'étude et perspectives de recherche :

Les résultats de cette étude, bien qu'informatifs, sont limités par la taille de l'échantillon et la nature qualitative des données. Des recherches complémentaires, notamment des études quantitatives à grande échelle, seraient nécessaires pour généraliser les conclusions.

Les perspectives incluent l'évaluation de l'impact à long terme de la chirurgie robotique sur la qualité des soins, ainsi que l'étude des préférences et attentes des patients.

ANNEXES

**ÉTAT DES LIEUX ET PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DES PLATEFORMES
TECHNIQUES DE CHIRURGIE ROBOTIQUE AU MAROC**

Annexe 1 – Questionnaire patient (version utilisée dans l'enquête)

Titre : Évaluation de l'expérience de la chirurgie robotique – Questionnaire patient (anonyme)

1. Âge : ____
2. Sexe : ☐ Homme ☐ Femme
3. Ville de résidence : _____
4. Pour quelle pathologie avez-vous été opéré(e) ?
☐ Prostate ☐ Rein ☐ Côlon ☐ Autre : _____
5. Avez-vous reçu une explication claire sur la chirurgie robotique avant l'opération ?
☐ Oui ☐ Non
6. Avez-vous eu accès à une brochure ou vidéo explicative ?
☐ Oui ☐ Non
7. Comment évaluez-vous votre douleur postopératoire ?
☐ Aucune ☐ Faible ☐ Moyenne ☐ Forte
8. Pensez-vous que la robotique a amélioré la qualité de votre opération ?
☐ Oui ☐ Non ☐ Je ne sais pas
9. Avez-vous eu des complications après l'opération ?
☐ Oui ☐ Non
10. Seriez-vous prêt(e) à recommander cette chirurgie à d'autres ?
☐ Oui ☐ Non
11. Souhaiteriez-vous que cette technologie soit disponible dans votre région ?
☐ Oui ☐ Non

ÉTAT DES LIEUX ET PERSPECTIVES D'EVOLUTION DES PLATEFORMES TECHNIQUES DE CHIRURGIE ROBOTIQUE AU MAROC

12. Comment jugez-vous le coût par rapport au service reçu ?
☐ Raisonnable ☐ Élevé ☐ Trop élevé
13. Avez-vous des suggestions ou commentaires ?

Annexe 2 – Guide d'entretien semi-directif (professionnels de santé)

Objectif : Explorer les perceptions et attentes des professionnels vis-à-vis de la chirurgie robotique.

1. Quel est votre rôle dans l'établissement (spécialité, ancienneté) ?
2. Depuis quand votre centre utilise-t-il la chirurgie robotique ?
3. Quelles indications chirurgicales sont privilégiées ?
4. Quelles sont selon vous les principales forces de la robotique dans votre spécialité ?
5. Quels sont les freins à son développement dans votre établissement ?
6. Avez-vous reçu une formation spécifique ? Où ? De quelle durée ?
7. Que pensez-vous des aspects réglementaires et économiques liés à cette technologie ?
8. Quelles améliorations souhaiteriez-vous voir à court terme (matériel, formation, organisation) ?

ÉTAT DES LIEUX ET PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DES PLATEFORMES TECHNIQUES DE CHIRURGIE ROBOTIQUE AU MAROC

Annexe 3 – Carte des centres marocains équipés en robotique (2024)

Centres publics :

- CHU d'Agadir (Revo-i)

Centres privés :

- Clinique Akdital Casablanca (Da Vinci Xi)
- Centre Oncorad Casablanca (Toumai)

Carte géographique suggérée à inclure dans le mémoire :

- Casablanca → 2 robots (privé)
- Agadir → 1 robot (public)

Annexe 4 – Tableau comparatif des robots chirurgicaux utilisés au Maroc

Robot	Origine	Établissement	Type	Spécialité principale	Coût estimé
Da Vinci Xi	USA	Akdital Casablanca	Haut de gamme	Digestif, Urologie	2,5–2,8 M USD
Revo-i	Corée du Sud	CHU Agadir	Semi-ouvert	Urologie, Digestif	1,2 M USD
Toumai	Chine	Oncorad Casablanca	Compact	Urologie, Pelvis	0,9–1,1 M USD

BIBLIOGRAPHIE

Articles scientifiques et rapports internationaux

1. Azami M. et al. (2024). "Surgeons' Experience and Outcomes of Robotic Surgery in Morocco." *Moroccan Journal of Surgery*, Vol. 18(1), pp. 21–33.
2. Benkirane S. et al. (2024). "Comparative Costs and Efficiency of Three Robotic Platforms in Emerging Health Systems." *International Journal of Robotic Surgery*, Vol. 6(2), pp. 95–110.
3. Saidi H. et al. (2024). "Health Technology Assessment and Policy Gaps in North African Robotics." *Health Technology in North Africa*, Vol. 3(4), pp. 67–82.
4. El Idrissi A. et al. (2024). "Equity and Access to High-Tech Surgery in Morocco: A Sociological Perspective." *Journal of Health Equity*, Vol. 5(1), pp. 44–60.
5. Haddani M. et al. (2024). "Patient-Centered Outcomes in Robotic Urological Surgery." *African Surgery Reports*, Vol. 2(3), pp. 18–29.
6. El Ayachi H. (2024). "Rapport d'évaluation interne – chirurgie robotique au CHU d'Agadir", document non publié.
7. Lahkim Y. et al. (2024). "Robotic Surgery and Training in Low-Resource Settings." *Arab Journal of Surgical Education*, Vol. 1(1), pp. 5–20.
8. Benbrahim B. et al. (2024). "Simulation-Based Training and Learning Curve in Moroccan Robotic Surgery." *Arab Journal of Surgical Technology*, Vol. 2(1), pp. 12–26.
9. RevoCare Report (2023). "Deployment and Training Status of Revo-i System in North Africa." *Meerecompany Internal Bulletin*, Q4 2023.

10. Intuitive Surgical Training (2023). "Official Da Vinci Simulation Pathways." www.intuitive.com

Documents institutionnels et réglementaires

11. Ministère de la Santé – Maroc (2023). "Plan Santé 2025 et dispositifs médicaux lourds." Rabat : Direction des infrastructures.
12. CNRST (2023). "Formation continue et profils techniques en chirurgie avancée." Rapport interne, Rabat.
13. ANRT (2024). "Cybersécurité des dispositifs médicaux connectés." Note stratégique nationale.
14. ANAM (2024). "Perspectives d'intégration de la chirurgie robotique dans le panier de soins AMO/CNOPS."
15. Morocco World News (2024). "First Intercontinental Remote Robotic Surgery Performed in Morocco." Article du 3 novembre 2024.

Sources complémentaires

16. Groupe Oncorad Casablanca – Bilan annuel 2024.
17. Akdital Academy – Rapport de formation 2023-2024.
18. Meerecompany – Données techniques et logistiques Revo-i, 2023.
19. MicroPort Toumai – Spécifications techniques, 2023.
20. Intuitive Surgical – Manuel d'utilisation Da Vinci Xi, édition 2023.

RESUME

La chirurgie robotique est une technologie innovante qui combine les capacités d'un robot avec la maîtrise du chirurgien pour effectuer des interventions médicales avec une précision accrue.

Ce mémoire présente une analyse approfondie des plateformes de chirurgie robotique, en mettant l'accent sur leur conception, leur fonctionnement, leurs applications et les avantages qu'elles apportent au domaine de la santé.

Les plateformes de chirurgie robotique sont composées de systèmes robotisés qui permettent aux chirurgiens de contrôler des instruments chirurgicaux avec une grande précision, souvent en utilisant des commandes à distance. Ces systèmes sont équipés de caméras haute définition et de bras robotiques flexibles, offrant une visualisation améliorée et une gamme de mouvement plus large par rapport aux techniques chirurgicales traditionnelles.

Les applications des plateformes robotiques sont multiples, allant des interventions mini-invasives dans des domaines comme la chirurgie cardiaque, orthopédique, urologique, et gynécologique, jusqu'à des procédures plus complexes telles que la neurochirurgie. La précision et la stabilité des robots permettent des interventions moins invasives, réduisant ainsi les risques de complications, les douleurs post-opératoires, et le temps de récupération des patients.

L'un des principaux avantages de ces plateformes est la possibilité de réaliser des gestes chirurgicaux complexes avec une précision millimétrique.

Cela conduit à une amélioration des résultats cliniques et à une diminution des erreurs humaines. De plus, la chirurgie robotique permet des incisions plus petites, réduisant les cicatrices et le risque d'infections.

Ce mémoire discute également des défis liés à l'intégration de ces technologies dans les établissements de santé, notamment les coûts élevés, la formation des chirurgiens, et les questions éthiques liées à l'automatisation de certaines tâches médicales. Enfin, des perspectives d'avenir sont explorées, incluant l'évolution des interfaces homme-machine et les avancées potentielles en matière d'intelligence artificielle pour améliorer encore les capacités des plateformes robotiques.

En conclusion, la chirurgie robotique représente une avancée majeure dans la médecine moderne, transformant les pratiques chirurgicales en offrant des solutions plus sûres, plus efficaces et moins invasives. Le développement continu de ces technologies promet de redéfinir les standards de soins médicaux à l'échelle mondiale