



## PROJET ROBOT AUTONOME

### JOUEUR DE DAMES

---

## État de l'art

---

Réalisé par :

Florian Brenot

Nour Grati

Julie Maurin

**Encadrant de Projet :**

Rémi Fabre

**Encadrant État de l'art :**

Stéphane Brunel

13 novembre 2017

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Intelligence Artificielle : Algorithmes de décision des jeux de Dames</b>	<b>4</b>
2.1	Règles du jeu . . . . .	4
2.1.1	Rois . . . . .	5
2.1.2	Conditions de victoire . . . . .	5
2.2	Description du problème . . . . .	5
2.3	Prise de décision . . . . .	5
2.3.1	Algorithme Minimax . . . . .	5
2.3.2	Algorithme Negamax . . . . .	6
2.3.3	Alpha–beta pruning . . . . .	6
2.3.4	Autres approches . . . . .	6
2.4	Fonctions d'évaluation . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Vision Robot</b>	<b>7</b>
3.1	Outils . . . . .	7
3.2	Détection de l'image . . . . .	7
3.2.1	Détection à la demande . . . . .	8
3.2.2	Détection continue . . . . .	8
3.3	Transformation homographique de l'image . . . . .	8
3.4	Analyse par comparaison . . . . .	9
<b>4</b>	<b>Le Cobot ou Robot Collaboratif</b>	<b>10</b>
4.1	Robot collaboratif VS Robot industriel traditionnel . . . . .	10
4.1.1	Évolution des Cobots . . . . .	10
4.1.2	Limites des robots industriels traditionnels . . . . .	11
4.1.3	Les "Cobots" comme solution . . . . .	11
4.1.4	Avantages des Cobots . . . . .	11
4.2	Robots collaboratifs dans le marché . . . . .	12
4.3	UR10 : Description technique . . . . .	13
4.3.1	Limites . . . . .	13
<b>5</b>	<b>Conclusion</b>	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>Webographie</b>	<b>16</b>

## 1 Introduction

Depuis le début du XXI<sup>ème</sup> siècle la cobotique ne cesse de progresser et s’imisce un peu plus chaque jour dans le quotidien de l’Homme. La cobotique peut être définie comme une branche de la robotique qui vise à mettre au point des robots permettant de réduire, faciliter voire remplacer des tâches effectuées par l’Homme.

La cobotique est également présente dans le domaine des loisirs et peut aller jusqu’à la substitution d’un joueur humain par un robot. Cela passe par la production de cobots précis et disposant d’une liberté de mouvement proche de celle de l’homme. Il est important d’y associer une brique d’intelligence artificielle capable de produire des stratégies parfois aussi performantes que celles que pourrait produire un être humain. la création de systèmes complets permettant une expérience de jeu entre Homme et cobot quasi identique à celle qui pourrait avoir lieu entre deux personnes est ainsi possible.

la suite du document présente un état de l’art aussi précis que possible concernant le développement d’un cobot joueur de Dames. En l’état actuel, nous disposons d’un bras cobot UR10 fixé sur un plateau de jeu de Dames et d’une caméra haute définition. L’objectif est de développer un programme composé de quatre entités : la vision, le simulateur de jeu, l’intelligence artificielle et le cobot ; qui une fois réunies pourront permettre à un humain de jouer aux dames contre le cobot dans des conditions proches de la réalité d’une partie entre deux personnes.

Nous avons choisi de développer l’état de l’art selon trois grands axes : l’intelligence artificielle, la vision et le cobot.

## 2 Intelligence Artificielle : Algorithmes de décision des jeux de Dames

Les dames ou jeu de dames est un jeu de société à deux joueurs. Le terme désigne en réalité plusieurs jeux, mais notre étude se limite aux jeu de dames anglaises.



FIGURE 1 – Plateau de dames anglaises

Cette version est jouée sur un plateau de 64 cases (8x8), et chaque joueur commence la partie avec 12 pions, disposés de manière symétrique sur le plateau.

### 2.1 Règles du jeu

Les règles de jeu sont assez simples. L'objectif est de capturer ou d'immobiliser tout les pions de l'adversaire. Il existe deux manières de déplacer les pions :

- Déplacement simple : Le mouvement simple consiste à déplacer un pion d'une seule case, en diagonale, vers une case sombre inoccupée adjacente. Les pions normaux ne peuvent se déplacer que vers l'avant, alors que les "rois" peuvent se déplacer vers l'avant et l'arrière.
- Saut : Un saut consiste à déplacer un pion en "sautant" au dessus d'un pion adverse. Les "hommes" (pions normaux) peuvent sauter en diagonale seulement vers l'avant, tandis que les Rois peuvent sauter dans n'importe quelle direction diagonale. Un pion est considéré comme "capturé" et retiré de la partie.

Plusieurs sauts sont possibles dans un même tour de jeu si après un saut, une autre pièce est immédiatement éligible pour être sautée, même si ce saut est dans une direction diagonale différente. Si plus d'un saut multiple est disponible, le joueur peut choisir la pièce avec laquelle sauter et la séquence de sauts à faire. La séquence choisie n'est pas nécessairement celle qui maximise le nombre de sauts dans le tour. Cependant, un joueur doit faire tous les sauts disponibles dans la séquence choisie.

Le saut est toujours obligatoire, si un joueur a la possibilité de sauter, il doit le faire, même si cela entraîne un désavantage pour le joueur qui saute.

### 2.1.1 Rois

Si un pion entre dans la rangée des rois du côté de l'adversaire, il est couronné roi et gagne la capacité de se déplacer en avant et en arrière.

### 2.1.2 Conditions de victoire

Un joueur gagne en capturant toutes les pièces de l'adversaire ou en laissant l'adversaire sans aucun déplacement possible.

## 2.2 Description du problème

Le problème principal dans la conception d'intelligence artificielle dédiée à un jeu est la stratégie, ou plus exactement la prise de décision, savoir quel mouvement nous rapproche de la victoire. Pour un être humain, l'expérience d'un joueur lui permet de reconnaître des situations, de se projeter quelques tours dans le futur pour imaginer des possibilités, décrypter les intentions de l'adversaire. Marion Tinsley était un mathématicien et joueur de dame professionnel, il est considéré comme étant le meilleur joueur de dames qui ait jamais vécu. Il a été champion du monde pendant plus de 20 ans, et n'as perdu que 7 matchs durant ses 45 ans de carrière, dont 2 contre "Chinook", une intelligence artificielle.

En effet, avec l'évolution croissante de la technologie, même les meilleurs joueurs du monde peuvent être dépassés par les machines. Lorsqu'un humain prévoit son coup en pensant aux 2-3 tours suivant, le programme lui peut en quelques secondes penser à 6 tours en avance et peut établir des stratégies que seul un maître de la discipline saura déchiffrer.

Mais la complexité engendrée par l'exploration de l'arbre de jeu et de son évaluation requiert également un certain nombre d'optimisations afin de rivaliser avec les performances des meilleurs êtres humains.

## 2.3 Prise de décision

La prise de décision est donc la partie la plus complexe d'une IA. Dans ce projet, la stratégie de notre algorithme sera basée sur l'algorithme Minimax, qui permet, comme son nom l'indique de minimiser la perte maximum. Dans un jeu à deux joueurs, cela revient à estimer les gains du joueur et les pertes de l'adversaire, pour chaque possibilité de mouvement, à ce tour ainsi qu'aux suivants.

### 2.3.1 Algorithme Minimax

Cet algorithme amène l'ordinateur à passer en revue toutes les possibilités de mouvement pour un nombre limité de coups et à leur assigner une valeur qui

prend en compte les bénéfices pour le joueur et pour son adversaire. Le meilleur choix est alors celui qui minimise les pertes du joueur tout en supposant que l'adversaire cherche au contraire à les maximiser (le jeu est à somme nulle).

### 2.3.2 Algorithme Negamax

Il existe également une variante de cet algorithme, intitulée Negamax, qui utilise le fait, dans un jeu à somme nulle comme le jeu de dames :

$$\max(a, b) = -\min(-a, -b)$$

ou plus exactement qu'un mouvement profitant au joueur correspond à une perte identique pour l'adversaire. Cette variante permet d'alléger l'implémentation de l'algorithme Minimax.

### 2.3.3 Alpha–beta pruning

L'élagage alpha-bêta (Alpha–beta pruning en anglais) est une amélioration de l'algorithme Minimax, permettant d'éviter de parcourir tout les noeuds de l'arbre de jeu. L'élagage alpha-bêta se base sur le principe suivant : il n'est pas nécessaire d'explorer les noeuds qui n'auront pas d'impact significatif sur la décision finale.

### 2.3.4 Autres approches

Il existe beaucoup d'algorithmes dont l'objectif est similaire, notamment NegaScout, Negac\*, SSS\*, MTD(f), ou encore plus récemment BNS. Chacun de ces algorithmes, y compris Minimax et alpha-beta sont optimisés pour obtenir un maximum de performances lors des calculs de stratégie.

## 2.4 Fonctions d'évaluation

Cependant, avant de pouvoir établir un algorithme, il faut tout d'abord pouvoir estimer les gains et les pertes d'un joueur pour une situation de jeu donnée. C'est ce que l'on appelle la fonction d'évaluation (scoring en anglais). Ces fonctions sont très dépendantes de l'implémentation faite du moteur du jeu lui-même. Mais elle se doit d'être la plus rapide possible, car cette fonction est appelée des dizaines de fois par l'algorithme Minimax.

Une approche envisagée pour ce projet est l'utilisation d'un réseau de neurones, préalablement entraîné sur des exemples de situation de jeu, pour évaluer les gains et les pertes d'une configuration du plateau de jeu.

## 3 Vision Robot

Un des aspect primordial de ce projet est l'obtention de la position des pions à partir de la caméra positionnée sur le système de jeu. Il sera nécessaire de pouvoir à chaque tour de jeu, prendre une capture du plateau et traiter les données de l'image afin de restituer au simulateur la position exacte de chacun des pions.

### 3.1 Outils

En l'état actuel des choses, nous disposons d'une caméra haute définition permettant d'obtenir des images d'une résolution maximale de 1280 x 720 pixels. Le débit d'image maximal est lui de 30 images par seconde en résolution 640 x 480 pixels.

La résolution doit être suffisamment élevée afin de permettre une restitution précise de la position des pions, sans toute fois compromettre un traitement rapide de l'information.

Pour l'heure la résolution est fixée à 1280 x 720 pixels et permet de restituer une image de taille carrée qui une fois traitée donne une position précise à la case près pour chaque pion.

Ici l'importance n'est pas la qualité de l'image mais bien les méthodes de traitement et de restitution des informations, la résolution utilisée sera très probablement amenée à changer au fur et à mesure des avancées dans les fonctionnalités de l'entité vision.



FIGURE 2 – Camera HD utilisée

### 3.2 Détection de l'image

Dès lors que le simulateur de jeu aura besoin d'informations sur le positionnement des pions, l'entité vision sera sollicitée. Dans une première version, il sera possible de lancer, via l'entité du simulateur de jeu, une détection entre chaque tour. Dans une version plus avancée, nous pouvons imaginer la possibilité de lancer automatiquement une capture à chaque détection de mouvement anormal du bras UR10 par l'entité cobot ou encore dès lors qu'un objet inconnu

serait détecté par la caméra.

On peut donc imaginer deux versions de la détection d'image :

- Détection à la demande ;
- Détection continue.

### 3.2.1 Détection à la demande

L'implémentation d'une détection à la demande ne nécessite pas énormément de ressources.

D'un point de vue algorithmique, le simulateur de jeu sollicitera l'entité vision dès lors que cela sera nécessaire et cette dernière effectuera les opérations permettant la bonne restitution des données.

D'un point de vue technique, l'acquisition d'image se faisant ponctuellement, une résolution importante ne devrait pas être une contrainte si nous prenons en compte le fait que la résolution maximale de la caméra n'excède pas les 1280 x 720 pixels, une taille relativement facile à traiter à l'aide de la librairie OpenCV.

### 3.2.2 Détection continue

En revanche, en ce qui concerne la détection en continu, sa mise en place augmente les contraintes techniques et modifie le mode de traitement.

D'un point de vue technique, la résolution optimale de notre caméra si l'on souhaite atteindre les 30 images par secondes, soit environ 30Hz, est de 640 x 480 pixels. Nous devrons donc être capable de traiter une image en environ 0,03 secondes si nous souhaitons utiliser le maximum des capacités de la caméra.

De ce fait, le bon traitement va de pair avec la mise en place d'algorithmes performants garantissant le bon traitement de la capture, la bonne restitution de l'état du plateau ainsi que la détection de changement imprévu d'une capture à une autre.

La méthode d'analyse par transformation homographique, filtrage et comparaison choisie permet de mettre en place la détection en continu sans avoir à changer les étapes de traitement d'une capture prévus le cas de détection à la demande. Il s'agira essentiellement de rajouter du code.

## 3.3 Transformation homographique de l'image

Lors de la capture, une projection de l'image de l'objet plan constitué par le plateau arrive sur un capteur. Les deux projections sont liées par transformation linéaire appelée homographie.

Afin de corriger la position des points obtenus par capture il faut établir la matrice Homographie et résoudre le système linéaire relatif. Pour cela il est nécessaire d'obtenir 4 points de référence appelés points saillants, ils peuvent être détectés automatiquement via comparaison ou bien définis manuellement par l'utilisateur.

La librairie OpenCV permet une résolution rapide de ce problème via l'utilisation de deux fonctions :

- `cv::getPerspectiveTransform(inputquad, outputquad)` : Prend en entrée les 4 points saillants de l'image capturée et les 4 points correspondant aux coins de l'image d'output ; Restitue en sortie la matrice de transformation ;
- `cv::warpPerspective(image, output, matrice_transf, size)` : Prend en entrée la capture, l'image d'output, la matrice obtenue précédemment et une taille ; Restitue l'image d'output correspondant à la capture corrigée ;



FIGURE 3 – Avant



FIGURE 4 – Après

### 3.4 Analyse par comparaison

Une fois la capture transformée par homographie, il faut ensuite par comparaison établir si un pion est présent ou non sur la case traitée.

Une conversion HSV permet de déterminer facilement la présence d'un pion ou non sur une case. On parcourt donc case par case le damier en mettant à 1 ou à 0 le bit correspondant à la case traitée. Le retour de l'état du plateau se fait via un entier en 32 bit ce qui permet de simplifier le traitement au niveau de l'entité du simulateur de jeu.

## 4 Le Cobot ou Robot Collaboratif

Dans notre projet, nous utilisons un bras robotisé UR10 pour jouer physiquement aux Dames. Nous ferons donc l'étude de ce cobot d'un point de vue positionnement technologique général ainsi que son positionnement sur le marché. Puis, nous donnerons ses fonctionnalités détaillés et ses limites.

### 4.1 Robot collaboratif VS Robot industriel traditionnel

Les robots collaboratifs ou "cobots" font partie d'une tendance forte dans le cadre d'évolutions technologiques en robotique. Leur implantation plaide en faveur de la coopération et de la collaboration entre les hommes et les robots.

#### 4.1.1 Évolution des Cobots

Les achats de robots collaboratifs ont doublé entre 2014 et 2015 dans le monde pour atteindre environ 5.000 machines selon les statistiques de l'International Federation of Robotics (IFR). Mais cela reste négligeable par rapport aux 253.000 robots commercialisés en 2015 sur l'ensemble de la planète. Néanmoins, le marché mondial des cobots devrait connaître un important développement au cours des prochaines années comme le montre les estimations représentées par la figure 5 et issues par MarketsAndMarkets en 2016.

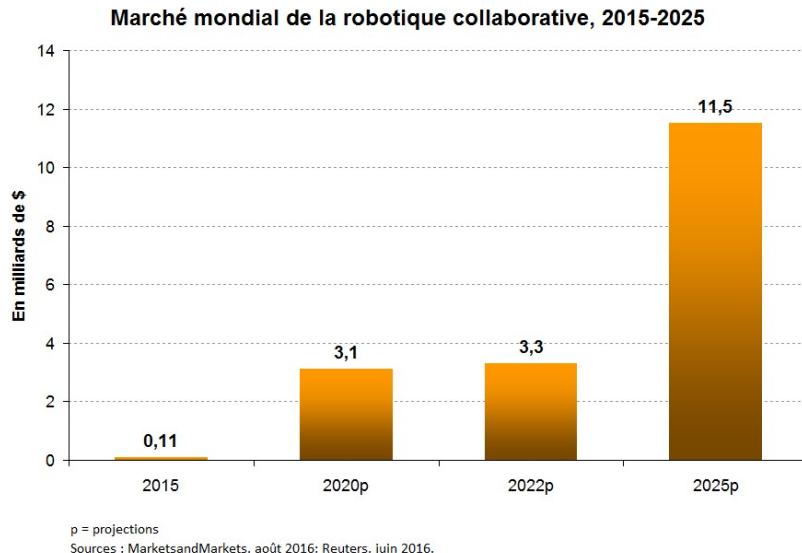


FIGURE 5 – Estimation du marché mondial de la cobotique, 2015-2025

#### 4.1.2 Limites des robots industriels traditionnels

Parmi les limites majeures des robots industriels traditionnels, on cite les suivantes :

- Ils ne sont **pas** souvent programmés pour **changer dynamiquement** leur comportement en fonction de leur environnement. Si vous lancez un robot supposé fixe et que le robot se déplace, tout son travail sera corrompu.
- D'après l'Annales des Mines, plusieurs **phénomènes dangereux** sont liés à l'utilisation des robots industriels. Si une personne marche à travers la zone de travail et que le robot la heurte, il peut ne pas s'arrêter et cette personne sera gravement blessée. Ces blessures sont accentuées par l'énergie cinétique élevée et/ou par le caractère contondant ou tranchant de l'outil. Ce point est un énorme obstacle pour les personnes qui interagissent avec des robots.
- La plupart des robots sont conçus pour **une tâche unique**. Soit ils sont déjà programmés pour faire la même chose, soit on peut leur apprendre quoi faire. Néanmoins, il faudra beaucoup de temps pour reprogrammer un robot, ce qui ne vaut pas le prix pour des changements fréquents. Ainsi, lorsque les entreprises dans l'industrie ont besoin de changer le comportement de leur robot, elles finissent souvent par acheter un nouveau robot et le programmer à partir de zéro, car le coût sera similaire à la reconstruction complète du logiciel implanté dans l'ancien robot.

#### 4.1.3 Les "Cobots" comme solution

Le terme **cobotique** est un néologisme issu des mots « coopération » et « robotique ». Il aurait été proposé en 1999 par *Edward Colgate et Michael Peshkin*, professeurs à la Northwestern University.

La cobotique se caractérise par l'interaction réelle entre un opérateur humain et un système robotique. Le cobot est donc un robot conçu pour travailler avec les humains dans un espace de travail partagé, à la différence d'un robot industriel classique. Il permet de ne pas avoir de cage de sécurité autour de lui.

Les robots collaboratifs sont soumis aux règles de sécurité EN ISO 10218-1 et EN ISO 10218-2 définissant des informations pour l'utilisation des robots industriels mais aussi la spécification ISO/TS 15066 définissant la permission faite à un humain de travailler directement avec le robot.

#### 4.1.4 Avantages des Cobots

Les cobots présentent plusieurs avantages :

- Sécurité : en travaillant avec les humains, ils sont dotés de fonctionnalités permettant une collaboration sans heurts.
- Efficaces : en permettant aux humains de se concentrer sur leur cœur de métier.
- Plus économiques : Pas de tâche unique. Ils peuvent être intégrés dans de multiples projets.

- Facilité de programmation.
- Collecte de données à l'aide de capteurs : Les robots collaboratifs imiteront les façons de faire des humains.
- Prendre les mesures appropriées sur les données collectées.
- Apprendre de leur travail : Ces robots adaptatifs collecteront des informations sur leurs propres performances et fourniront une analyse des données pouvant contribuer à l'amélioration continue des processus.

## 4.2 Robots collaboratifs dans le marché

Les URs se trouvent dans un marché cobotique plein de concurrents. En tant qu'entreprise, Universal Robots existe depuis le début de la mise au point de la technologie en 2005. Universal Robots a vendu sa première unité en 2008 et utilise actuellement plus de 1000 unités dans des sociétés telles que Bosch, Daimler, BMW et Samsung.

Le Cobot que propose Universal Robotics (Figure 6) utilise une plate-forme à 6 axes, à la différence du cobot populaire Baxter (Figure 7) qui utilise une plate-forme à 7 axes.

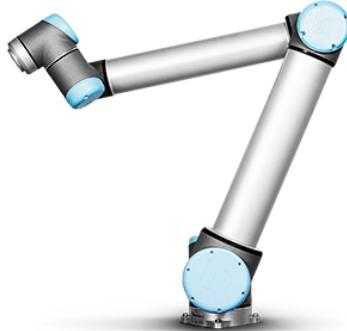


FIGURE 6 – Universal Robots - UR10

Baxter était lancée par *Rethink Robotics* en septembre 2012. En raison de son faible prix, de sa grande flexibilité et de sa capacité à contourner les humains sans cage, ce robot a été bien accueilli par l'industrie. *Rethink Robotics* a lancé plus tard Sawyer (Figure 8). Ce cobot a une charge utile de 4 kg et une portée de 1 026 mm. Et la spécificité intéressante à propos de ce robot est le système de vision qui surveille son environnement et lui permet de regarder où il positionne son bras.



FIGURE 7 – Le cobot Baxter



FIGURE 8 – Le cobot Sawyer

Sur le marché, il existe d'autres robots collaboratifs comme les robots FANUC, les robots ABB. Mais ce qui caractérise les cobots UR, c'est leur simplicité.

### 4.3 UR10 : Description technique

Le bras UR10 est conçu pour les tâches de taille humaine. Il a une répétabilité de 0,1 mm et dispose de paramètres de sécurité variables lorsque des collaborateurs humains travaillent à côté du robot.

Voici quelques spécificités techniques de ce bras :

- Un rayon de travail de 1300 mm
- Capacité de charge maximale de 10 kg
- Plages d'articulation : +/- 360 sur toutes les articulations
- Vitesse maximale de 1 mètre par seconde en pleine charge
- Programmation de style d'enseignement simple avec la possibilité de créer une logique complexe dans un environnement de type pointer-cliquer.
- Langage de script complet pour une programmation complexe requise.
- Technologie de détection de torsion à utiliser dans des situations de collaboration.
- Compatible avec les systèmes de vision industrielle tels que Cognex.
- Répétabilité de +/- 0.1 mm
- Évaluation environnementale de IP54.
- Poids sans piédestal : 28.6 kg.
- Durée de vie calculée de 36 000 heures de fonctionnement à des charges nominales.

#### 4.3.1 Limites

Selon IOActive, un des leaders mondiaux de la cybersécurité, certains des robots industriels les plus populaires sont dangereusement faciles à pirater et pourraient être transformés en dispositifs d'écoute ou en armes.

Des failles de sécurité majeures étaient découvertes dans des modèles industriels vendus par Universal Robots. Ces vulnérabilités pourraient permettre aux robots d'être transformés en dispositifs de surveillance, d'espionner leurs

propriétaires ou de les détourner et blesser physiquement des personnes ou endommager des biens.

Les dispositifs d'Universal Robots sont conçus pour fonctionner directement aux côtés des humains sans être confinés dans une cage sécurisée. Mais IOActive a pu pirater à distance le logiciel qui contrôle le robot et désactiver les fonctions de sécurité clés. Cela pourrait entraîner une programmation malveillante entraînant des blessures aux opérateurs.

Ainsi, des perspectives d'améliorations sont possibles en ce qui concerne les URs ainsi que l'ensemble des cobots actuels.

## 5 Conclusion

En conclusion, aux vues de ce qui a déjà été réalisé et testé, de ce que nous avons pu établir dans cet état de l'art et de ce dont nous disposons à l'heure actuelle, ce projet semble réalisable dans une version que l'on pourrait qualifier de complète. Par complète nous entendons le fait qu'un Homme puisse avoir une expérience de jeu satisfaisante contre le cobot. On peut même espérer que le cobot puisse gagner une partie de dames contre un humain.

En effet, une grande partie du challenge de ce projet, réside en l'implémentation d'une intelligence artificielle suffisamment performante pour battre un humain moyen. Cela devra passer par l'implémentation d'algorithmes de prises de décision classiques tels que Minimax mais surtout par la mise en place de stratégies assez performantes pour permettre à la machine de développer une vision de jeu dépassant le nombre de coups que peut anticiper un cerveau humain.

Enfin, on peut également observer dans cet état de l'art la pluridisciplinarité des compétences requises pour mener à bien ce projet, que ce soit dans le domaine de la cobotique, de la théorie des jeux ou encore de la vision par ordinateur.

## 6 Webographie

- <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.95.5393&rep=rep1&type=pdf>
- <https://www.industrie-techno.com/les-ventes-mondiales-de-robots-industriels-devraient-40227>
- <https://ville.montreal.qc.ca/idmtl/manufaturier-avance-des-technologies-de-pointe-pour>
- <https://www.generationrobots.com/>
- <http://cobotsguide.com/2017/08/popular-robots-are-dangerously-easy-to-hack-cybersecurity>
- <http://www.multitudes.net/le-cobot-la-cooperation-entre-lutilisateur-et-la-machine/>
  
- [http://www.jautomatise.com/articles\\_de\\_la\\_revue/cobots-debarquent](http://www.jautomatise.com/articles_de_la_revue/cobots-debarquent)
- <https://chessprogramming.wikispaces.com/Search>
- [https://dspace.lu.lv/dspace/bitstream/handle/7/4903/38550-Dmitrijs\\_Rutko\\_2013.pdf](https://dspace.lu.lv/dspace/bitstream/handle/7/4903/38550-Dmitrijs_Rutko_2013.pdf)
- <http://www.mb-s.fr/wp-content/uploads/2015/06/ur10-fiche-technique.pdf>
- <https://www.cairn.info/revue-realites-industrielles1-2012-1-page-24.htm#pa7>
- <https://www.marketsandmarkets.com/AboutUs-8.html>
- <https://ifr.org/>

