

**TRAN-H201 – Projet multidisciplinaire II – 2018-2019**

**Conception et réalisation d’un robot magasinier**

**Rapport bibliographique**

**Groupe 12**

DEWITTE Loïc

RENARD Maxime

SACLIER Théo

SAMAAN Firas

SMEESTERS Tristan

VAN DELFT Julien

**Traduction des mots-clés :**

|  |  |
| --- | --- |
| **Mots-clés utilisés en français** | **Mots-clés utilisés en anglais** |
| Roue Mecanum | Mecanum wheel |
| Autonome | Autonomous |
| Localisation et cartographie simultanée | SLAM (simultaneous localization and mapping) |
| Arduino | Arduino |
| Raspberry PI | Raspberry PI |
| Véhicule | Vehicle |
| Caméra | Camera |
| Impression 3D | 3D Print |
| Capteurs | Sensors |
| Roue omnidirectionnelle | Omnidirectional wheel |
| Préhension robotisée | Robotic gripper |
| Capteur à ultrason | Ultrasonic sensor |
| Odométrie 2D | Odometry 2D |
| Saisie autonome | Autonomous picking |
| Ouverture variable | Variable aperture |
| Mesure | Measurement |
| Image server | Image server |
| Robot mobile | Mobile robot |
| « Pick and place ». | Pick and place |
| Entrepôt | Warehouse |
| Simulation | Simulation |
| Automatisation | Automation |
| Bras robotique | Robotic arm |
| Pince robotique | Robotic claw/gripper |
| Mesure de distance | Distance measurement |
| Modélisation | Mapping |
| Identification d’objet | Object indentication |
| Détection d’obstacle | Obstacle detection |
| Systèmes intégrés | Embedded systems |

**Equations de recherche :**

* "Robotic arm" AND Pick AND Grasp
* "Robotic gripper" AND "Variable aperture"
* "Robot gripper"AND Simulation
* "Visual odometry” NOT Social NOT Insect NOT Ant NOT Neural NOT Aircraft NOT Optic
* 3D AND Print AND Mecanum
* Arduino AND Rapsberry PI AND Odometry
* Automate AND Picker
* Mechanism AND Gripping
* Mesure sur image server AND Robot
* Odometry AND Robot
* Odometry AND Robot AND Mecanum AND Wheel
* Odometry AND Robot AND Raspberry PI AND Camera
* Odometry AND Vehicle
* Odometry AND Vehicle AND Camera/Sensors
* Odometry AND Vehicle AND SLAM
* Odometry NOT Social NOT Insect NOT Ant NOT Neural NOT Aircraft NOT Optic
* Préhension robotisée AND Saisie autonome
* Raspberry AND Odometry AND Vehicle
* Robot AND Mobile
* Robot AND Omnidirectional
* Sensor AND Ultrasonic
* SLAM AND Odometry
* Warehouse AND Robot AND Grasp
* Wheels AND Mecanum

**Base de données utilisées :**

1. **Google**:

Il a été utilisé pour vulgariser les notions scientifiques complexes afin d’avoir une première approche plus axée sur la compréhension basique avant de se lancer dans des recherches avancées.

1. **Techniques de l’ingénieur** :

Cette base de données a été très utile pour comprendre en profondeur les différents concepts liés au projet.

1. **Cible +** :

Cette base de données a été la plus utilisée car elle regroupe plusieurs bases de données scientifiques comme ScienceDirect ou JSTOR. Les recherches de beaucoup des articles choisis ont donc été effectuées sur ce moteur de recherche. Les articles sont précis et donnent soit énormément d’informations sur un sujet (comme le SLAM) soit un projet semblable au notre en un ou plusieurs aspects spécifiques (comme construire un robot serveur autonome).

1. **Linguee** :

Ce site a été très utile lors des traductions de mot clés dans leur contexte et pour, ensuite, effectuer les recherches en utilisant le vocabulaire adéquat.

1. **IEEE Xplore :** C’est une base de données axée sur les sciences de l’ordinateur, ingénierie électrique ainsi que les électroniques, qui est gérée en grande partie par l’Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

**Bibliographie :**

* ASADI, Khashayar, Hariharan RAMSHANKAR, Harish PULLAGURLA, Aishwarya BHANDARE, Suraj SHANBHAG, Pooja MEHTA, Spondon KUNDU, Kevin HAN, Edgar LOBATON, et Tianfu WU. Octobre 2018. « Vision-based integrated mobile robotic system for real-time applications in construction » dans *Automation in Construction* 96, p470‑p482.

Il s’agit d’un article présentant un véhicule se déplaçant via une caméra et une correction de la direction en temps réel (via SLAM). Les auteurs sont un groupe de recherche de l’université de Caroline du Nord. Cet article présente un projet très proche du nôtre. Il sera très utile de s’inspirer de ces résultats pour configurer le déplacement de notre prototype.

* BEN AMAR, Faïz, et Christophe GRAND. 2016. « Robotique mobile : conception, modélisation et commande : Architectures matérielles des robots mobiles » dans *Techniques de l’Ingénieur - Conception, modélisation et commande en robotique*, 10 mai 2016.

Présente des concepts généraux pour le choix d’architecture matérielle et la conception du système locomoteur (à roues) d’un robot mobile. Ben Amar est ingénieur en robotique et professeur à l’Université Pierre et Marie Curie.

* BEN-ARI, Mordechai, et Francesco MONDALA. 2018. *Elements of Robotics*. Cham: Springer International Publishing, 308p.

Explique longuement ce qu’est l’odométrie et comment l’exploiter. Aborde une multitude d’aspects en rapport à des robots semblables à celui qui devrait être développé (capteurs, codes, contrôle du véhicule, etc.). Mondala est un professeur à l’EPFL et expert en robotique, Ben Ari est professeur à l’Institut des Sciences Weizmann et conférencier.

* CHEONG, A., MWS. LAU, E. FOO, J. HEDLEY, et Ju WEN BO. Septembre 2016. « Development of a Robotic Waiter System ». *IFAC-PapersOnLine*, 7th IFAC Symposium on Mechatronic Systems MECHATRONICS 2016, 49, no 21. P.681‑p686.

Ce document nous montre un projet de serveur autonome et surtout se mouvant avec des roues Mecanum. En effet, nous avons choisi de munir notre prototype de 4 roues Mecanum pour plus de stabilité tout en gardant une bonne mobilité. Ce projet et cet article ont été rédigés par une équipe de recherche de l’université de Newcastle.

* CHO, Bong-Su, Woo-Jin SEO, Woo-sung MOON, et Kwang-Ryul BAEK. 2013. « Positioning of a Mobile Robot Based on Odometry and a New Ultrasonic LPS ». *International Journal of Control, Automation and Systems* 11 (2): 333‑45.

L'odométrie est une méthode qui calcule la position et l'orientation d'un robot mobile à l'aide d'encodeurs fixés aux roues du robot. Les erreurs de position et d’orientation en odométrie augmentent en permanence à mesure que le temps de fonctionnement et la distance de déplacement augmentent. Cet article propose une solution pour surmonter ces erreurs accumulées et explique un système de positionnement local par ultrasons (LPS).

* CONDARU, Ionel, Ioan DOROFTEI, Dorin LUCA, et Alina CONDARU SLATINEANU. Octobre 2014. « Odometry Aspects of an Omni-Directional Mobile Robot with Modified Mecanum Wheels » dans *Applied Mechanics and Materials: Zurich.* Vol. 658. P.587‑p592.

Toujours au sujet des roues Mecanum, de nombreux calculs mathématiques liés à la cinétique et surtout à l’adhérence de ces roues sont présentés dans cet article. Les chercheurs travaillant à l’université de Iasi y expliquent aussi comment appliquer l’odométrie aux roues Mecanum.

* CULLER, David, et James LONG. 2016 « A Prototype Smart Materials Warehouse Application Implemented Using Custom Mobile Robots and Open Source Vision Technology Developed Using EmguCV » dans *Procedia Manufacturing*. Vol 5. P.1092‑p1106.

Ici, le projet présenté est assez proche de celui qui nous est demandé dans le cahier des charges. Ce sera donc une très bonne source d’inspiration et une première direction dans les choix à faire car leurs choix sont justifiés. Les différences majeures entre les deux projets sont la taille du robot et le budget. En effet, le prototype de l’article est beaucoup plus grand et donc nécessite un budget plus conséquent. Les chercheurs ayant écrit ce rapport travaillent tous à l’Oregon Institute of Technology.

* Erlingsson, Bjartmar Freyr, Ingólfur Hreimsson, Páll Indriði Pálsson, Sigurður Jóhann Hjálmarsson, et Joseph Timothy Foley. « Axiomatic Design of a Linear Motion Robotic Claw with Interchangeable Grippers ». *Procedia CIRP*, The 10th International Conference on Axiomatic Design (ICAD2016), 53 (1 janvier 2016): 213‑18.

Cet article nous donne une idée du type de pince que l’on pourrait concevoir pour saisir les tubes. De plus la source provient d’une conférence internationale.

* FAN YU, Chen. 1982. « Gripping Mechanisms for Industrial Robots ». *Mechanism and Machine Theory* 17 (5): 299‑311.

Cet article présente une série de pinces, pour robot, toutes différentes les unes des autres. Par les explications fournies pour chacune de ces pinces, nous pourrons décider laquelle sera la meilleure pour pouvoir agripper un tube en PVC.

* FONSECA FERREIRA, N. M., André ARAUJO, M. S. COUCEIRO, et David PORTUGAL. Mai 2018. « Intensive summer course in robotics – Robotcraft » dans *Applied Computing and Informatics:* Portugal

Ce n’est pas un article mais un cours très complet, validé par la communauté scientifique, sur la robotique, la manière de construire et de coder des robots. Il recouvre un très vaste sujet mais avec une grande précision ce qui permettra d’acquérir une base très solide en matière de robotique. Les rédacteurs de ce cours sont des chercheurs de l’Institut de Coimbra au Portugal.

* GARCIA GARCIA, R., M. A. SOTELO, D. FERNANDEZ I. PARRA, et M. GAVILAN. Octobre 2007. « 2D Visual Odometry method for Global Positioning Measurement » dans *2007 IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing:* Espagne.

Ce document nous explique d’une manière très complète la construction de robot et surtout les marches à suivre pour coder l’odométrie et les intelligences artificielles. Ce document est quelque peu obsolète car il s’agit d’un rapport de conférence donnée il y a plus de 10 ans par des chercheurs de l’Université d’Alcala. Nous n’allons donc pas prendre en compte les informations de ce document.

* GFRERRER, A. 2008. « Geometry and Kinematics of the Mecanum Wheel ». *Computer Aided Geometric Design* 25 (9) : 784‑91.

Ces deux articles expliquent en détails le fonctionnement d’un robot à roues omnidirectionnelles, ils abordent aussi la modélisation de ces roues et décrivent la cinématique du robot par diverses équations. Ils nous aident donc à comprendre comment un tel robot se déplace dans son environnement.

* GONZALEZ, Ramón, Francisco RODRIGUEZ, et José Luis GUZMAN. 2014. “Autonomous Tracked Robots in Planar Off-Road Conditions” dans *Studies in Systems, Decision and Control*, Vol. 6. Cham: Springer International Publishing, p119.

Contient un chapitre abordant la localisation d’un véhicule à l’aide de l’odométrie visuelle. Introduit et développe la technique, en plus d’en présenter les avantages et inconvénients.

* Guo, SHUAI, Qizhuo DIAO, et Fengfeng XI. 2017. « Vision Based Navigation for Omni-Directional Mobile Industrial Robot ». Procedia Computer Science 105 : 20‑26.

Cet article explique comment un robot peut se déplacer, en utilisant une caméra embarquée et différents capteurs, et rectifier sa trajectoire.

* HAMBERG, Roelof, et Jacques VERRIET. 2012. *Automation in Warehouse Development*. Londres; New York: Springer, p241.

Contient une partie abordant la problématique de la prise d’objets, automatisée, à un niveau industriel. Échelle d’application un peu éloignée mais idées exploitables. Les auteurs sont des chercheurs en automatisme dans le domaine privé.

* HEIDARI, Hamidreza ; Pouria, Milad JAFARY ; Sharifi, SHAHRIAR ; Karami, MAHMOUDREZA

Advances in Space Research, 1 March 2018. «[Design and fabrication of robotic gripper for grasping in minimizing contact force](https://cibleplus-ulb-ac-be.ezproxy.ulb.ac.be/primo-explore/fulldisplay?docid=TN_sciversesciencedirect_elsevierS0273-1177(17)30900-6&context=U&vid=32ULB_VU1&lang=fr_FR&search_scope=default_scope&tab=default_tab)». Vol.61(5), pp.1359-1370

Cet article présente une nouvelle méthode permettant d’améliorer la cinématique du préhenseur robotique pour la saisie, très intéressant pour optimiser le fonctionnement de notre pince.

* KANEKO, Makoto, et Yoshihiko NAKAMURA, 2010. “Robotics Research: The 13th International Symposium ISRR” dans *Springer Tracts in Advanced Robotics*, Vol. 66. Berlin: Springer-Verlag. 450p.

Présente une méthode robuste d’odométrie visuelle, adaptée à l’utilisation d’un robot en extérieur dans un court chapitre. Bien trop évolué mais pourrait aider à résoudre certains problèmes avec une approche différente. Le comité d’édition et de révision est composé d’une multitude de professeurs d’universités de tous lieux géographiques.

* KILIN, A., P. BOZEK, Yury KARAVAEV, A. KLEKOVKIN, et V. SHESTOKOV. 2017. « Experimental Investigations of a Highly Maneuverable Mobile Omniwheel Robot ». *International Journal of Advanced Robotic Systems* 14 (6): 1729881417744570.

Démontre l’avantage des roues omnidirectionnelles et leur fonctionnement à l’aide d’un exemple concret de robot à quatre roues. Source publiée dans un journal international sur les systèmes robotiques avancés.

* KOSTAVELIS, Ioannis, Evangelos BOUKAS, Lazaros NALPANTIDIS, et Antonios GASTERATOS. 2016. « Stereo-Based Visual Odometry for Autonomous Robot Navigation ». *International Journal of Advanced Robotic Systems* 13 (1): 21.

Cet article démontre l’efficacité de l’odométrie, ici à l’aide d’une caméra stéréo (utile pour du relief). Source publiée dans un journal international sur les systèmes robotiques avancés.

* KOVAL, L., J. VANUS, et P. BILIK. 2016. « Distance Measuring by Ultrasonic Sensor ». *IFAC-PapersOnLine*, 14th IFAC Conference on Programmable Devices and Embedded Systems PDES 2016, 49 (25): 153‑58.

Donne une idée assez précise du fonctionnement d’un capteur à ultrasons. Source tirée d’une conférence sur les dispositifs programmables et les systèmes intégrés PDES.

* L’Institut MAUPERTUIS. 2014. “ROBOTIQUE : Les Préhenseurs Adaptatifs.” *Bulletin Technique,* N ° 39.

Ce document vulgarise de manière extrêmement simple les différents types de préhenseurs existants ainsi que leurs avantages et inconvénients sous forme de tableaux succincts et efficaces. Ce qui est très appréciable avant de se lancer dans des recherches plus poussées. Cette présentation succincte a été publiée en 2014 ce qui en fait un document assez récent. L’Institut Maupertuis est une association territoriale française soutenue par l’Etat qui est active dans le domaine des technologies industrielles innovantes.

* LEE, Seung-Jae, et Jong-Hwan KIM. 2013. « Development of a Quadrocoptor Robot with Vision and Ultrasonic Sensors for Distance Sensing and Mapping ». *Robot Intelligence Technology and Applications 2012*, 477‑84.

Cet article explique comment réaliser un mapping en couplant des capteurs à ultrasons avec une caméra. Cela montre l’efficacité des capteurs à ultrasons pour déterminer une distance (entre notre robot et le tube dans notre cas). Jong-Hwan Kim est un pionnier en robotique, surtout connu pour son « Soccer robot ».

* LIM, Zhong S., Soon T. KWON, et Moon G. JOO. 2012. « Multi-Object Identification for Mobile Robot Using Ultrasonic Sensors ». *International Journal of Control, Automation and Systems* 10 (3): 589‑93.

Exemple d’utilisation des capteurs à ultrasons pour identifier des objets à l’aide de triangulation. Cela peut éventuellement nous inspirer afin de déterminer le diamètre du tube et ainsi les identifier rapidement. Source publiée dans le journal international sur le contrôle et les systèmes d’automatisation.

* MARLEAU, S. 2004. “ Système embarqué de localisation et de perception pour un robot mobile." *École polytechnique de Montréal*: cours séminaire ele6904, avril 2004.

Cette étude propose un système de perception basé principalement sur 2 types de capteurs : une caméra omnidirectionnelle et des encodeurs optiques mesurant le déplacement des roues motrices. Son principe général ainsi que son implémentation y sont présentés. Datant de 2004, ce document n’est pas très récent. Néanmoins, il est agréé par l’Ecole Polytechnique de Montréal ce qui lui confère une certaine valeur scientifique.

* MAZL, R., L. PREUCIL. 2000. “Building a 2D Environment Map from Laser Range-Finder Data.” *Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2000 (Cat. No.00TH8511)*.

Bien qu’un peu plus ancien, ce document provient encore une fois d’une base de données adéquate. Cependant, nous n’avons que très peu d’info concernant ses auteurs. Ces documents nous ouvrent les portes sur le principe général d’odométrie de manière très complète en précisant les composants ainsi que les conditions nécessaires à l’auto-localisation du robot mobile.

* MILLER, Andrew T., et Peter K. ALLEN. 2004. « Graspit ! A Versatile Simulator for Robotic Grasping » dans *IEEE Robotics & Automation Magazine*, Vol. 11 (4) : p110‑122.

Présente un simulateur de pinces robotiques avancé, provenant d’une thèse à l’Université de Columbia. Intéressant pour l’approche de la réalisation d’équations pour notre simulateur.

* News Reporter-Staff News Editor at Journal of Engineering. 2018. « Robo-Picker Grasps and Packs » dans *Journal of Engineering*, 5 mars 2018. Atlanta: [NewsRx](https://search-proquest-com.ezproxy.ulb.ac.be/publisherlinkhandler/sng/pb/NewsRx/$N?accountid=17194).

Article décrivant une façon de prendre des objets à l’aide d’une ventouse pour ensuite les analyser, développée par l’Université de Princeton et le MIT. Plus précis que nécessaire ici mais l’idée est à discuter. L’auteur réel n’est malheureusement pas donné, et l’éditeur du journal nous était inconnu, à prendre avec un peu de méfiance.

* PEEl, H., S. LUO, A. G. COHN, et R. FUENTES. Octobre 2018. « Localisation of a mobile robot for bridge bearing inspection » dans *Automation in Construction.* Vol 94. p244‑p256.

L’article nous montre un projet de création de robot capable de se mouvoir via un Raspberry PI sur lequel est implémenté l’odométrie. Il est très enrichissant d’avoir plusieurs expériences semblables à la nôtre pour nous montrer les pièges à éviter dans ce genre de projet. L’équipe ayant fait cette expérience est une équipe de l’Université de Leeds au Royaume-Uni.

* RAMIREZ-SERRANO, A., R. KUZYK, and G. SOLANA. 2010. “Elliptical Double Mecanum Wheels for Autonomously Traversing Rough Terrains.”

Cet écrit explique la démarche utilisée pour rendre efficace le concept de la roue mecanum, conventionnellement employée dans le cas de terrain plat, sur terrains bruts (rocheux par exemple). Bien que l’adaptation mathématique rendant cette roue tout terrain ne nous intéresse pas directement, il s’agit ici de profiter de la description de la roue mecanum simple faite préalablement dans ce document. Le fait que cette étude soit disponible sur ScienceDirect valide sa qualité scientifique. A côté de ça, les trois auteurs sont des membres du Departement de Mécanique et d’Ingénierie de Fabrication au sein du « Autonomous Reconfigurable Robotics Systems Laboratory » à l’Université de Calgary au Canada, ce qui correspond exactement au domaine ici abordé.

* ROSATI, G., S. MINTO, and F. OSCARI. 2017. “Design and Construction of a Variable-Aperture Gripper for Flexible Automated Assembly.” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol.48: 157–66.

Ce document constitue l’étude d’une pince mécanique simple à ouverture variable. Son comportement y est étudié en détails, peut-être trop pour notre cas d’ailleurs mais elle reste un bon support pour avoir en tête une multitude de possibilités que ça soit au niveau de la forme des pinces ou du type de mécanisme afin de faire un choix final des plus adaptés. Les auteurs de cette étude sont plus que concernés par le sujet étant donné qu’ils font partie du Département de Management et d’Ingénierie au sein de l’Université De Padua en Italie. Par ailleurs, ils l’ont publiée en décembre 2017, ce qui reste relativement récent.

* Singh, NGANGBAM HEROJIT, et Khelchandra THONGAM. 2018. « Mobile Robot Navigation Using Fuzzy Logic in Static Environments ». *Procedia Computer Science* 125: 11‑17.

Cet article nous explique comment un robot peut repérer des obstacles autour de lui et ensuite les contourner, ce qui peut être très utile pour ne pas renverser les différents tubes se trouvant sur son chemin.

* TIANRAN, P., Q. JUN, Z. BIN, L. JIAKUI, W. XINGWEI. 2016. “Mechanical Design and Control System of an Omni-Directional Mobile Robot for Material Conveying.” *Procedia CIRP*, Vol.56: 412–15.

Ce document reprend la construction et la configuration d’un robot omnidirectionnel autonome sur un cas concret à 4 roues. Cette source est très intéressante et inspirante en ce fait qu’elle présente exactement le modèle de robot choisi par l’équipe. Ce récent rapport provient de *ScienceDirect* et traite d’un sujet bien connu par ses auteurs. En effet, ils travaillent pour L’Ecole de Mécanique et d’Ingénierie Automobile à L’Université De Technologie de Hefei en Chine.

* VACHALEK, Ján, Filip TOTH, Pavol KRASNANSKY, et Ľubomír CAPUCHA. 2014. « Design and Construction of a Robotic Vehicle with Omni-directional Mecanum Wheels ». *Transactions of the VŠB - Technical University of Ostrava, Mechanical Series* 60 (juin): 97‑104.

Cet article décrit principalement la description détaillée des systèmes de contrôle et des sous-systèmes du véhicule, ce qui sera surement utile pour la construction de notre prototype.

* WALTER, C. et H. SCHWEINZER. 2015. « A3.2 - Applications of a Compact Ultrasonic 3D Sensor for Recognition of Shape and Orientation of Objects ». <https://doi.org/10.5162/sensor2015/a3.2>.

Dans cet article, deux exemples d’applications illustrant le système à l’aide d’un système de référence global pour l’analyse de scènes, et l’utilisation de deux capteurs 3D compacts fonctionnant en groupe, permettent d’identifier la taille et l’orientation.

* WATANABE, Norinao, et Goro OBINATA. 2008. « Grip Force Control Using Vision-Based Tactile Sensor for Dexterous Handling ». In *European Robotics Symposium 2008*, édité par Herman BRUYNINCKX, Libor PREUCIL, et Miroslav KULICH, 113‑22. Springer Tracts in Advanced Robotics. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Cet article nous propose une méthode, pour contrôler la force des pinces d’un robot, basée sur le degré de glissement à l'aide d'un capteur tactile basé sur la vision.

* WU, X.X. ; Zhang, X.L. ; Zhou, H.D. ; Chou, W.S.

[Modeling and simulation of omni-directional mobile robot with mecanum wheel](https://cibleplus-ulb-ac-be.ezproxy.ulb.ac.be/primo-explore/fulldisplay?docid=TN_scopus2-s2.0-84906980068&context=U&vid=32ULB_VU1&lang=fr_FR&search_scope=default_scope&tab=default_tab)

Applied Mechanics and Materials, 2014, Vol.624, pp.417-423

Dans cet article, un robot mobile à roues omnidirectionnelles a été conçu, il nous fournit donc de précieuses informations pour la réalisation de notre projet.

* ZHANG, Hao, Pinxin LONG, Dandan ZHOU, Zhongfeng QIAN, Zheng WANG, Weiwei WAN, Dinesh MANOCHA, et al. 2016. « Dora Picker : An Autonomous Picking System for General Objects » dans *arXiv :1603.06317 [cs]*, 20 mars 2016. Dernière consultation : 17 octobre 2018.

Publication reprise à l’Université Cornell, présente différents systèmes de pinces, leur fonctionnement et leur capacité à attraper une multitude d’objets du quotidien. La technique « Pick and Place » est extensivement expliquée.