

Revue critique et perspectives de la recherche sur la transformation de l'espace industriel à l'ère de la substitution des humains par les machines

XU Wenbo, SUN Keyi, WANG Xingping

Résumé: À l'avènement de l'ère du numérique intelligent, la relation entre l'homme et la machine fait l'objet d'un réajustement structurel, engendrant de nouvelles relations homme-espace qui façonnent à la fois les espaces techniques et sociaux. Cette tendance s'exprime de manière particulièrement saillante dans le développement et l'évolution des espaces industriels. Adoptant une perspective techno-industrielle, cette étude retrace l'évolution historique de la relation homme-machine et démontre que, lorsque la machine acquiert une certaine subjectivité spatiale, les distributions géographiques de l'homme et de la machine se différencient selon divers scénarios, entraînant un réajustement de l'ordre spatial industriel urbain. Un survol des recherches de pointe montre que les réflexions suscitées par la substitution des humains par les machines se concentrent principalement sur la substitution de l'emploi et l'évolution des configurations régionales, la mutation des relations industrie-ville, ainsi que l'intelligentisation des espaces industriels — mais qu'une réflexion systématique sur les nouveaux paradigmes spatiaux fait encore défaut. À la lumière des tendances technologiques et des besoins pratiques actuels, cette étude préconise la construction d'un cadre d'analyse spatiale fondé sur la synergie « homme — machine — territoire — industrie » et identifie trois axes de recherche prioritaires : la redistribution spatiale homme-machine dans un contexte de reconstruction de la subjectivité machinique ; le rééquilibrage industrie-ville face à la tendance à la désanthropisation des espaces manufacturiers ; et la corrélation synergique entre espaces de production physiques et espaces de production virtuels.

Mots-clés : relation humain-machine ; substitution des humains par les machines ; transformation de l'espace industriel ; paradigme spatial

Le progrès technologique exerce une influence profonde et complexe sur l'espace urbain. Chaque fois qu'une technologie nouvelle émerge et trouve des applications industrielles à grande échelle, la relation entre l'homme et la machine se réajuste sous l'effet combiné du système technique et du système social, se projetant dans l'organisation interne et la morphologie extérieure de la ville. Des théoriciens urbains tels que Mumford ont très tôt articulé l'étude du progrès technique et du développement urbain, affirmant que « la véritable révolution technique ne réside pas dans l'innovation mécanique, mais dans la reconstruction d'un lien organique entre la technique et l'humanité », ouvrant ainsi une perspective essentielle de « vision technohistorique » pour l'histoire du développement urbain. Aujourd'hui, les nouvelles technologies de l'information et l'intelligence artificielle poussent à nouveau la société humaine au seuil d'une transformation des systèmes de production ; la relation homme-machine se trouve une fois encore face à un réajustement majeur. Tout en élevant considérablement la productivité, les nouvelles technologies engendrent des espaces de production intelligent et suscitent dans la société une vive inquiétude quant à la « substitution des humains par les machines » — c'est-à-dire le

remplacement des postes de travail humains par des machines. Face aux nouveaux modes de production, aux flux de main-d'œuvre et aux caractéristiques spatiales des chaînes industrielles, de nouvelles offres spatiales et stratégies d'adaptation s'imposent. Dans cette optique, examiner les recherches sur l'évolution des espaces industriels sous l'angle de la substitution homme-machine constitue un angle d'approche essentiel pour explorer les lois d'organisation spatiale et les mécanismes de la ville future sous l'impulsion des nouvelles technologies.

1 Contexte : tendance technologique de la substitution homme-machine et défis spatiaux

1.1 Généalogie technologique et caractéristiques par étapes de la substitution homme-machine

La révolution industrielle marque le point de départ de l'édification de la structure économique et sociale moderne, et ouvre également le chapitre de la substitution systématique et à grande échelle du travail humain par les machines. Dans une perspective historique, le remplacement de l'homme par la machine peut être globalement divisé en quatre phases.

(1) Phase d'amélioration instrumentale (avant la révolution industrielle) : dans la société agraire, les machines existaient comme des prolongements physiques des organes humains — l'homme concevait et manipulait des dispositifs mécaniques ou exploitait des forces naturelles telles que le vent ou l'eau pour amplifier certaines de ses capacités physiologiques, comme la force ou l'endurance. Quelle que soit la complexité des différents engins, leur nature ne différait pas fondamentalement de celle du levier inventé et utilisé par Archimède.

(2) Phase de substitution de l'énergie (première et deuxième révolutions industrielles) : l'invention de la machine à vapeur et des systèmes électriques permit à la production humaine de transcender les plafonds de la force humaine, animale et de l'énergie naturelle. Les insuffisances de la force humaine et animale furent comblées, et les défauts d'instabilité des énergies naturelles surmontés. Sur cette base, les systèmes mécaniques acquirent une source d'énergie indépendante, et la valeur énergétique du travail humain fut presque entièrement substituée par les machines. La valeur de l'homme se déplaça davantage vers les domaines techniques — c'est la première fois qu'apparut une division relativement nette du travail entre l'homme et la machine.

(3) Phase de substitution du contrôle informationnel (troisième révolution industrielle) : l'invention des tubes à vide et des transistors rendit possible le « contrôle d'un courant élevé par une faible tension » ; soutenue par l'architecture de von Neumann, la machine put non seulement exécuter des processus de production standardisés selon des instructions prédéfinies, mais aussi réaliser des échanges d'information directs entre machines. Dans la main-d'œuvre humaine, la demande de travailleurs manuels diminua, et leur rôle évolua davantage d'opérateurs vers celui de superviseurs.

(4) Phase de substitution des capacités de réflexion et de décision (ère de l'intelligence artificielle) : sous l'impulsion de l'analyse de grandes données et de l'apprentissage profond, les machines ont franchi les limites de l'exécution selon des programmes prédéfinis par l'homme, entamant un traitement informationnel de niveau cognitif et acquérant la capacité d'interaction en temps réel avec les humains et de prise de décision collaborative homme-machine. La répartition du travail entre l'homme et la machine penche davantage encore en faveur des machines. Avec le développement d'interfaces neuronales et d'autres technologies, il n'est pas exclu qu'à l'avenir émerge un état de fusion profonde entre

l'intelligence biologique et l'intelligence artificielle.

Dans l'ensemble, la logique technologique de la substitution homme-machine peut se décliner selon deux dimensions : d'une part, la substitution par les machines évolue progressivement du remplacement de la force musculaire à celui de la force cognitive — certains chercheurs distinguent ainsi la « première révolution mécanique » et la « deuxième révolution mécanique » ; d'autre part, le mode de contrôle humain sur les machines évolue, du pilotage manuel au contrôle par programmes informatiques, puis progressivement au contrôle par la parole et la conscience — des chercheurs ont proposé, du point de vue de la cognition humaine, les notions de « troisième révolution cognitive » et de « révolution de Turing ». Voir figure 1.

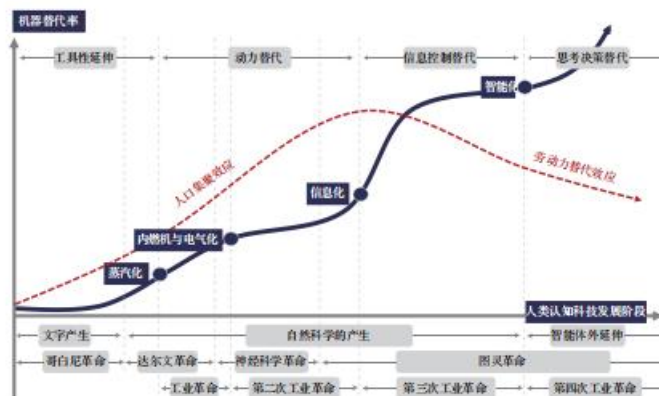


Fig.1 Le processus historique global de substitution des machines

1.2 Tendances évolutives de la division du travail homme-machine sous l'angle de la philosophie de la technique

La relation homme-machine a globalement traversé plusieurs phases de développement : instrumentalisme, partenariat, symbiose. Dans la phase d'instrumentalisme, la machine était considérée comme un prolongement de l'outil humain. Dans la phase de partenariat, la machine ne fut plus uniquement perçue comme un outil entièrement passif, mais comme capable de surpasser l'homme dans certains domaines et de former avec lui une division du travail — ainsi furent proposées des notions telles que le « calcul co-assisté homme-machine ». Aujourd'hui, l'intelligence artificielle a franchi le seuil technologique du « inutilisable → peu utilisable → utilisable » pour entrer dans la forme technologique de la machine intelligente. La machine intelligente ne se contente plus d'imiter les comportements humains, elle peut simuler la pensée et la conscience humaines, rendant la frontière entre l'« humain » et le « quasi-humain » toujours plus floue. Norbert Wiener, fondateur de la cybernétique, estimait que la relation entre l'homme et la machine ne devrait pas se limiter au contrôle unilatéral de la machine par l'homme, mais être une relation de collaboration et de symbiose mutuelles, soulignant que les relations les plus importantes de la société humaine seront celles entre l'homme et la machine, entre les machines elles-mêmes, et entre les hommes. Mais que l'on soit optimiste ou pessimiste quant au développement de l'intelligence artificielle, la substitution des humains par les machines constitue une tendance quasi irréversible. Avec l'extension du sujet de la division du travail — de la division du travail exclusivement humaine vers une division et une collaboration duales homme-machine — celle-ci est devenue une manifestation importante de la quatrième grande division sociale du travail. Dans ce processus de division homme-machine, deux effets paradoxaux coexistent :

le « remplacement de l'homme par la machine » et le « renforcement de l'homme par la machine » (ou « coopération homme-machine »), effets dits de « compétition-coopération symbiotique ». Dans l'ensemble, comparée à l'opposition binaire directe entre l'homme et la machine propre à l'ère de la grande industrie mécanique, les dispositifs mécaniques intelligents assument effectivement un rôle majeur de « libérateur », libérant l'homme dans une certaine mesure, mais les travailleurs restent confrontés au risque permanent d'être remplacés par des machines intelligentes.

1.3 Nécessité du tournant spatial dans les recherches sur la substitution homme-machine

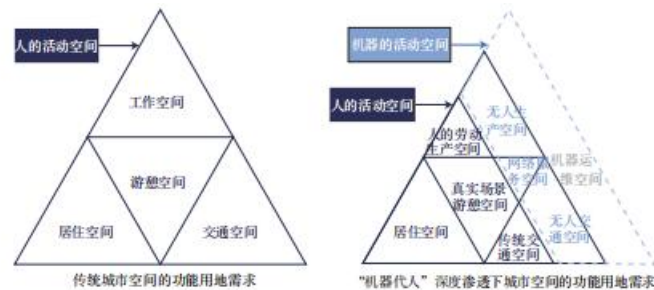
La grande industrie mécanique constitue le fondement productif du développement urbain moderne et joue un rôle déterminant dans la construction des pensées et modèles d'urbanisme et dans le façonnement des formes spatiales. En général, les zones industrielles sont les espaces qui concentrent le plus la substitution homme-machine, mais lorsque les machines ne possèdent pas d'autonomie, l'agrégation des machines et celle des populations industrielles se produisent de manière synchrone. Par conséquent, durant une longue période, bien que les machines aient exercé une certaine substitution du travail humain (principalement la substitution de l'énergie), elles ont également créé davantage d'emplois dans le processus d'industrialisation, et leur impact social est resté relativement contrôlable.

Lorsque les systèmes machines ont pu s'échanger des informations de rétroaction et de contrôle mutuels, la main-d'œuvre humaine a commencé à quitter les lignes de production de première ligne, et l'effet de substitution homme-machine a commencé à dépasser l'effet d'agrégation des populations industrielles engendré par la grande industrie mécanique. L'explosion des technologies d'intelligence artificielle a encore accentué cette tendance : dans le domaine industriel, la main-d'œuvre humaine s'est progressivement retirée de la première ligne de production, engendrant des scénarios d'usines sans opérateurs, de ports automatisés, de mines sans personnel ; dans le secteur des services, des technologies telles que la logistique autonome et la conduite autonome se trouvent également à un moment charnière de diffusion à grande échelle. Ainsi, la substitution homme-machine pourrait pour la première fois expulser la main-d'œuvre humaine des espaces d'emploi habituels depuis la formation de la civilisation industrielle, entraînant conjointement une transformation fondamentale des modèles d'organisation spatiale. On peut donc affirmer que la substitution homme-machine n'est plus une question philosophique, technologique ou de relations sociales latente, mais s'affirme progressivement comme une question spatiale explicite.

Des chercheurs en urbanisme ont déjà pris conscience de l'impact spatial potentiel du nouveau paradigme technico-économique : les nouvelles technologies, représentées par les technologies de l'information, transformeront considérablement la forme spatiale matérielle et le mode de fonctionnement des villes. Cependant, les débats se déploient principalement le long de l'axe « technologie — espace », abordant les relations entre espaces virtuels et réels, la décentralisation et l'aplatissement des réseaux fonctionnels urbains, la mixité fonctionnelle, etc., avec une attention relativement faible portée au lien entre les « humains » substitués par les machines et l'espace. YANG Yongchun et al. estiment que l'irruption des nouvelles technologies fera évoluer la relation homme-territoire urbaine d'une co-opération vers une interaction virtuelle. XU Wenbo et al. ont proposé un modèle de distribution homme-machine dans l'espace urbain sous la condition d'une collaboration approfondie, mais ce modèle manque encore d'études empiriques concrètes. Dans l'ensemble, les disciplines à vocation spatiale telles que la géographie et l'urbanisme doivent porter une

attention aux questions les plus avancées de la substitution homme-machine, et combler les lacunes de recherche sur cette question cruciale pour le développement urbain futur par la pratique spatiale, la recherche théorique interdisciplinaire et l'empirisme spatial systématique.

Fig.2 Assomption de l'allocation de l'espace homme-machine et tendance évolutive de la composition des terres urbaines



2 Progrès des recherches sur les espaces industriels sous la tendance de la substitution homme-machine

L'industrie manufacturière est le secteur dans lequel les robots sont intervenus le plus tôt, à l'échelle la plus large et avec l'impact le plus significatif. La transformation des espaces industriels centrés sur les fonctions manufacturières constitue sans doute le domaine prioritaire des recherches actuelles sur la substitution homme-machine. Ces dernières années, de nombreuses régions ont lancé la construction d'usines intelligentes et d'usines entièrement automatisées (dites « usines sans lumière »), orientant les parcs industriels vers une direction intelligente et désanthropisée, ce qui a engendré des effets spatiaux différenciés à toutes les échelles spatiales : régionale, urbaine, de parc et d'usine. Les recherches peuvent globalement être regroupées en trois volets.

2.1 Niveau macro : différences sectorielles et régionales de l'effet de substitution de l'emploi

La substitution de l'emploi humain par les machines est le facteur le plus déterminant dans la mutation des régions et des espaces urbains. Historiquement, les craintes que les machines remplacent les humains remontent à Ricardo et John Barton, qui estimaient que les machines évincent les travailleurs et créent un excédent de main-d'œuvre. Au début du XIXe siècle, le Royaume-Uni connut le célèbre mouvement luddite, un soulèvement de grande ampleur de travailleurs craignant d'être remplacés par les machines de production, qui détruisirent les machines pour s'opposer à l'application des nouvelles technologies. On considère généralement que l'impact du progrès technologique sur le développement industriel et social est globalement neutre, et que l'influence des machines sur l'emploi combine à la fois un « effet d'éviction » et un « effet de création ». Daron Acemoglu et al. estiment que l'augmentation de la productivité peut compenser la substitution du travail par les machines, en créant de nouvelles tâches adaptées à la main-d'œuvre humaine. D'autres points de vue soutiennent que l'automatisation favorise la croissance mais nuit à l'égalité. Dans l'ensemble, l'impact de l'intelligence artificielle sur l'emploi est structurel : elle augmente de manière significative la demande d'emplois hautement qualifiés et peu qualifiés, tandis que la main-d'œuvre moyennement qualifiée subit le plus haut degré de substitution, engendrant un phénomène de « polarisation » de l'emploi. Du point de vue des compétences requises par les postes de travail, la substitution homme-machine conduit à la coexistence de tendances de « montée en gamme technologique » et de « déclassement du

travail » dans certains postes, mais les postes fondés sur des « savoirs tacites » sont les moins susceptibles d'être reproduits et remplacés par des robots.

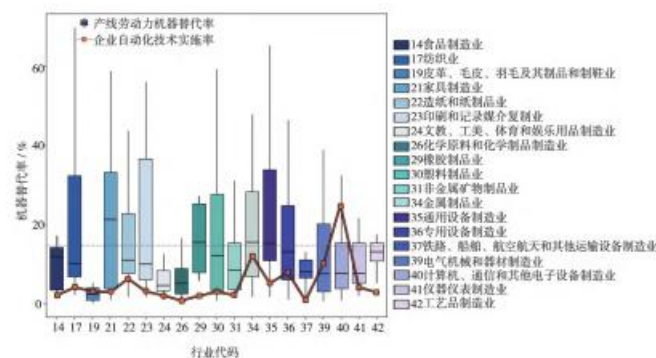
Du point de vue de l'expérience internationale, l'élévation du niveau d'automatisation et de numérisation de la production industrielle remplace effectivement une partie de la main-d'œuvre. Dans les recherches sur le secteur manufacturier américain, bien que la concentration du capital informatique améliore considérablement la productivité du travail, le niveau de l'emploi y baisse encore plus rapidement, ce qui peut entraîner une baisse des salaires et un excédent de main-d'œuvre. Au Japon, environ 55 % des emplois sont considérés comme relativement faciles à remplacer par des ordinateurs. Bien que la Chine, en tant que pays industrialisé tardif par rapport aux pays occidentaux et au Japon, bénéficie d'un avantage en termes de coût de la main-d'œuvre, des phénomènes significatifs de remplacement des travailleurs par des machines sont déjà apparus dans des régions telles que le delta de la Rivière des Perles et le delta du Yangtsé, et les entreprises manufacturières présentent une corrélation négative significative entre le niveau d'automatisation et la demande de main-d'œuvre.

En ce qui concerne les disparités régionales de la substitution homme-machine, dans l'ensemble, la population manufacturière chinoise présente une tendance globale à la « désanthropisation », mais dans une perspective articulée « industrie — population — espace », la Chine n'est pas tombée dans le piège de la « désindustrialisation excessive » : elle se trouve dans une désindustrialisation vertueuse, mue par la technologie. Du fait de la « polarisation » de l'emploi manufacturier, les travailleurs industriels traditionnels connaissent un « chômage technologique », les facteurs de main-d'œuvre ne jouent plus un rôle déterminant dans le transfert industriel régional, et les industries manufacturières de technologie moyenne, une fois arrivées à maturité, ne privilégient plus les transferts vers les régions de l'intérieur où les coûts de main-d'œuvre sont plus bas. La Chine présente actuellement le phénomène concomitant du remplacement des travailleurs par des machines et du transfert intersectoriel et du reflux régional de la main-d'œuvre, ce qui indique que la structure binaire entre zones urbaines et rurales persiste et que le marché du travail conserve encore certaines caractéristiques territoriales. Des recherches montrent que l'intelligentisation industrielle a un effet plus marqué sur l'augmentation de la production des entreprises dans les villes de haut niveau. Certaines études menées du point de vue des entreprises confirment ces constats : dans un environnement intelligent, la géographie des entreprises est souvent dominée par les grandes entreprises, et les seuils d'investissement technologique creusent l'écart — « les forts deviennent plus forts, les faibles plus faibles » ; l'application de nouvelles technologies permet aux entreprises de compenser efficacement l'augmentation des coûts de la main-d'œuvre et de réduire la probabilité de migration.

La substitution homme-machine présente également des différences significatives entre les différents secteurs. Selon les recherches de l'équipe du professeur LI Xun, le taux de substitution de la main-d'œuvre dans le delta de la Rivière des Perles est d'environ 10 %, et celui de la ville de Dongguan d'environ 16 % ; les secteurs les plus touchés sont la fabrication d'équipements généraux, la fabrication de produits métalliques et la fabrication de produits en caoutchouc (figure 3). Dans une étude du district de Shunde à Foshan, le taux de substitution des machines chez des entreprises types telles que Midea est d'environ 22 %, le taux de substitution de la main-d'œuvre par les machines dans l'industrie électroménagère du district de Shunde est d'environ 11,15 %, et le taux moyen de substitution de la main-

d'œuvre manufacturière par les machines dans l'ensemble du district est d'environ 7,72 %.

Fig.3 Niveaux de substitution des machines par sous-secteur de fabrication dans la ville de Dongguan (2014-2016)



Ces dernières années, des disciplines telles que l'économie industrielle, l'économie du travail et les études de population, ressources et environnement ont également prêté attention à l'impact de l'intelligentisation industrielle sur l'emploi manufacturier, mesurant et expliquant les effets sur la taille, la structure, les flux, le niveau de revenu et la stabilité de l'emploi. Ces recherches mesurent principalement le niveau d'intelligentisation industrielle par des données indirectes — démographiques, économiques, industrielles et d'innovation — et valident les corrélations entre les différents facteurs par des modèles économétriques, tout en expliquant leurs mécanismes, mais elles manquent de synthèse et d'explication des phénomènes spatiaux.

2.2 Niveau méso : évolution de la localisation industrielle et reconstruction des relations industrie-ville

L'approfondissement continu de la substitution homme-machine affaiblit la capacité explicative de la théorie traditionnelle de la localisation industrielle pour rendre compte de la répartition spatiale actuelle des espaces industriels. La modernisation des modes de transport et de logistique, la désanthropisation des espaces industriels et d'autres facteurs ont profondément modifié les relations espace industriel — ville. L'équipe du professeur HUANG Jingshan estime que la répartition des espaces industriels évolue selon deux modèles : l'orientation transport et l'orientation technologie. D'autres recherches, partant des catégories industrielles, identifient plusieurs modes : une localisation « orientée services » pour les industries légères, « orientée transport » pour les industries lourdes, et « orientée technologie » pour les industries créatives. Dans l'ensemble, le rôle des coûts de main-d'œuvre dans le choix de la localisation industrielle s'affaiblit continuellement, tandis que l'influence des coûts de transport, des coûts fonciers, de l'environnement des affaires et des réseaux d'innovation ne cesse de croître. Les recherches menées à Shenzhen montrent que les différentes étapes du processus de production industrielle présentent des caractéristiques de différenciation spatiale : les activités de production industrielle se répartissent selon un schéma « multipolaire et contigu » en périphérie du centre-ville, tandis que les activités de R&D industrielle se répartissent selon un schéma « monocentrique et dispersé » au sein du centre-ville.

En ce qui concerne l'évolution des relations spatiales industrie-ville, la fabrication intelligente présente des tendances de flexibilité qui poussent vers une transformation organisationnelle en réseau de la production, engendrant des espaces composites adaptés aux nouvelles formes d'activité. Le mode de production post-fordiste conduit les espaces manufacturiers, à

l'échelle macro, d'une disposition concentrée vers une disposition dispersée et périphérique. D'autres chercheurs classent les grappes industrielles de fabrication intelligente en Chine en trois types de disposition : parc, ville et région. Certains chercheurs ont analysé l'évolution des espaces industriels à l'échelle de l'aire métropolitaine et ont identifié des caractéristiques similaires : dans les banlieues des grandes métropoles, les populations employées tendent globalement à diminuer, tandis que les populations employées des centres-villes continuent de se concentrer ; en particulier, les espaces à fonction manufacturière dominante présentent un déséquilibre entre population et superficie. D'autres chercheurs, en observant les bourgs spécialisés, ont constaté que la mise en œuvre du « remplacement des travailleurs par des machines » peut favoriser l'extension des chaînes industrielles vers le secteur des services, permettant une transformation composite de l'espace des bourgs.

2.3 Niveau micro : organisation spatiale fine des usines et parcs intelligents

Le progrès technique affecte directement les fonctions spatiales et les formes des bâtiments et des sites industriels, entraînant ainsi des changements dans la répartition des espaces de parcs industriels. Depuis la publication du plan « Made in China 2025 », les recherches sur les usines intelligentes se sont multipliées dans le milieu industriel chinois, clarifiant progressivement l'architecture générale de la construction d'usines intelligentes. Cependant, du fait de leur formation professionnelle, ces recherches se concentrent principalement sur les technologies de production et les processus de fabrication, offrant un apport limité pour la planification et la construction des espaces industriels.

Dans les domaines de l'urbanisme et de l'architecture, certains chercheurs ont prêté attention à la tendance de l'évolution des modes d'utilisation des espaces industriels vers plus d'efficacité, d'intensification et de flexibilité sous l'effet des nouvelles technologies. Ils estiment que, comparés aux espaces industriels traditionnels, les supports industriels intelligents présentent des modifications à des degrés divers en termes de forme, d'emprise au sol, de portée, de hauteur sous plafond et de capacité portante, ce qui impose de nouvelles exigences sur les échelles de division et de répartition des terrains industriels dans les parcs. Parmi ces recherches : CHEN Jia-ping et al. ont analysé les caractéristiques sectorielles et les superficies de 46 « usines-phares » en Chine, avec une superficie moyenne de 1,03 km² et des tailles généralement importantes, mais cette étude n'a pas effectué de comparaison transversale entre les usines-phares et les usines manufacturières traditionnelles ; ZHU Kai et al., à travers l'étude des usines du futur à Hangzhou, estiment qu'à l'échelle microscopique, les espaces industriels formeront un mode commercial intensif, un mode de recherche-incubation, un mode maillé composite et un mode manufacturier de type usine ; l'équipe du professeur WEI Cheng considère que les nouveaux systèmes de production intelligents posent des défis aux modèles traditionnels de planification des espaces industriels, et exercent une influence profonde sur les espaces industriels à travers la mixité fonctionnelle, la qualité environnementale, l'intelligentisation des supports et l'optimisation de l'organisation foncière. Dans l'ensemble, les chercheurs en planification mènent principalement des analyses au niveau des modèles spatiaux des parcs et des usines, et les recherches portent davantage sur la répartition des terrains, l'organisation fonctionnelle, la taille et la forme des bâtiments, l'organisation des flux de production internes, les équipements d'infrastructure, etc., au service de la planification et de la conception des espaces matériels.

2.4 Caractéristiques et insuffisances des recherches

Du point de vue des disciplines, des échelles spatiales et des axes de recherche, la substitution homme-machine, en tant que variable majeure du développement économique et social, a retenu l'attention des disciplines concernées. De nombreux chercheurs ont anticipé les impacts potentiels des nouvelles technologies sur les espaces industriels futurs, et ont tenté d'apporter des réponses scientifiques par la construction théorique, la modélisation des modèles et la pratique de la planification. Cependant, du fait que les nouvelles technologies telles que l'intelligence artificielle en sont encore à leur phase d'émergence et de croissance rapide, les réponses spatiales sont relativement en retard, et les phénomènes spatiaux observables demeurent relativement rares. Les recherches sur la dimension spatiale présentent encore des insuffisances tant en matière de construction théorique que d'études empiriques. Les études approfondies sur les processus et mécanismes d'évolution spatiale, sur l'adéquation entre l'offre et la demande spatiales, et sur les effets synergiques industrie-ville-population font particulièrement défaut, rendant urgente la construction de nouveaux cadres explicatifs. Voir figure 4.

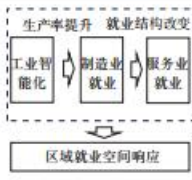
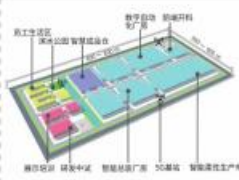
分析尺度	区域产业格局层面	产城空间关系层面	厂区/园区空间层面
分析框架	劳动力流动——区域发展	产业变迁——城市空间结构响应	技术应用——新空间利用模式
现有研究的认识论	机器人人的技术属性	工业智能化及其区位变化	智能化产业空间的模式
	机器人人与劳动力市场的地域性	新产业空间的“弹性化”模式	产业用地规模改变
	机器人人的行业属性	产业从中心集聚走向分散、边缘布局	产业空间功能改变
	劳动力的区域迁移	就业由郊区向中心城区流动	产业空间形态改变
	企业的劳动力需求演化	大都市边缘区“产城分离”	智慧基础设施体系构建
涉及学科	产业经济学、劳动经济学、人口资源环境学	城乡规划学、产业经济学、地理学	城乡规划学、建筑学、总图运输等
典型研究范式	 生产率提升 就业结构改变 工业智能化 → 制造业就业 → 服务业就业 ↓ 区域就业空间响应 工业智能化对劳动力就业的影响机制	 “机器人人”后工业在城市中的分布情形	 大型制造单元空间模式
	主要关注人，对物质空间的研究不足，缺乏人口—用地关联性研究	主要关注物质空间，对人的研究不足，较少关注人在城市空间中的“再流动”	主要聚焦空间本体的功能和形态，缺乏对产业环节微观组织的研究
未来研究潜在方向	机器人人引致的产业用地“无人化”“减人化”现象及其规律	就业空间和产业空间的分化带来的产城空间关系演化趋势	数智化技术驱动下的虚实结合的工业生产系统空间组织模式

Fig.4 Résumé du cadre de recherche existant sur la substitution des machines dans l'espace industriel

(1) Au niveau régional, les recherches existantes se déploient principalement autour des caractéristiques évolutives des facteurs de main-d'œuvre à l'échelle macro-régionale, en mettant l'accent sur l'augmentation ou la diminution de la population et les modifications de la répartition spatiale, mais en négligeant relativement les changements d'échelle et de structure des terrains industriels. Les recherches sur la corrélation population-terrains sont insuffisantes. À l'avenir, il conviendra de poursuivre les études sur les phénomènes et les lois de « désanthropisation » et de « réduction de personnel » des terrains industriels induits par la substitution homme-machine.

(2) Au niveau urbain, les recherches sur la mutation des espaces industriels et l'évolution de la structure urbaine sont abondantes, mais se concentrent principalement sur les changements de localisation, d'échelle, de fonction et de morphologie des supports spatiaux matériels tels que les parcs industriels, en négligeant relativement les modifications des

choix d'emploi de la main-d'œuvre humaine sous l'effet de la substitution homme-machine et les lois de « refluidité » de celle-ci au sein de l'espace urbain. Les recherches futures devront nécessairement prendre en compte la différenciation entre l'espace d'emploi (le lieu de travail de la main-d'œuvre humaine) et l'espace industriel (le lieu doté de fonctions de production), et s'en servir comme point d'entrée pour repenser les tendances évolutives des relations industrie-ville.

(3) Aux niveaux microscopiques du parc et de l'usine, les recherches existantes ont déjà relevé les changements dans les fonctions et les formes spatiales matérielles des nouveaux espaces industriels, mais les études sur la logique organisationnelle interne des espaces industriels sous l'impulsion des technologies numériques et intelligentes restent relativement rares, notamment en ce qui concerne les modes de combinaison spatiale et les choix de « micro-localisation » des différentes étapes — gestion, R&D, fabrication, commercialisation, etc. — des entreprises. Il est nécessaire de réexaminer les lois spatiales à partir des modèles organisationnels internes des systèmes de production industrielle.

3 Perspectives de recherche : la transformation du paradigme de l'espace industriel sous la collaboration homme-machine

3.1 Reconstruction de la subjectivité spatiale de la machine : de la substitution instrumentale à la substitution d'activité comportementale

Dans de nombreux domaines — science, littérature, cinéma —, l'humanité a longtemps imaginé l'émergence d'une « vie silicique » douée d'une intelligence comparable à la sienne. Dès 1950, dans son œuvre *I, Robot*, l'écrivain américain de science-fiction Isaac Asimov formula les célèbres « trois lois de la robotique », considérées comme les « fondements de la robotique moderne ». Aujourd'hui, les robots peuvent générer de manière autonome certaines actions par le « calcul comportemental ». Bien qu'ils restent fondamentalement des dispositifs électromécaniques, ils sont devenus des machines à « saveur humaine ». À l'avenir, avec l'élévation du niveau d'intelligence, les biorobots pourraient probablement s'intégrer plus profondément dans la société en tant qu'« autres personnes ».

Bien que cette autonomie des robots repose sur des algorithmes et des systèmes de capteurs définis par l'homme, elle leur confère néanmoins la capacité et le droit de « décider à l'improviste » dans de nombreux scénarios spatiaux. Dans le domaine juridique, des experts ont déjà souligné que les robots humanoïdes pouvaient entrer dans le champ des sujets de responsabilité juridique, et ont proposé une architecture fondamentale de gouvernance juridique. Du point de vue de l'histoire de l'interaction entre le développement technologique et l'évolution urbaine, les sujets de développement et d'utilisation de l'espace passeront incontestablement de l'humain seul à l'« quasi-humain » : les robots se déferont de leur seul attribut d'outil pour acquérir, dans une certaine mesure, les propriétés d'acteurs spatiaux indépendants. Particulièrement dans les espaces industriels, l'occupation et l'utilisation de l'espace par les machines dépasseront largement celles des humains, « repoussant » et « évinçant » les humains dans l'espace.

Ainsi, l'interaction homme-machine ne se produit plus seulement au niveau fonctionnel, mais devient un scénario spatial omniprésent dans les villes du futur. Bien que cette « répulsion » et cet « éviction » spatiales soient motivées par la libération de l'homme et l'élévation de la productivité, elles entraînent de fait une modification de la distribution géographique de l'homme et des machines, ainsi qu'un réajustement de l'ordre spatial urbain. Telle est la logique fondamentale par laquelle l'évolution de la relation homme-

machine influence les modèles d'organisation des espaces industriels.

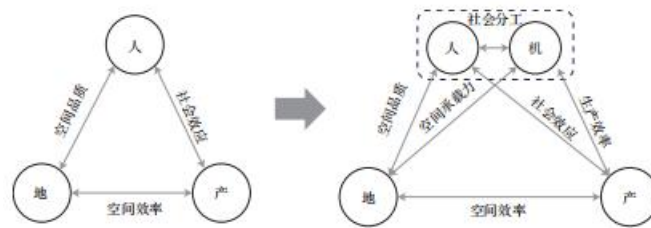
3.2 Mutation de la logique d'allocation des ressources spatiales : du « couplage homme-territoire » au « découplage homme-territoire » partiel

En théorie, lorsque les robots possèdent simultanément la capacité de substitution fonctionnelle et spatiale de la main-d'œuvre humaine, le couplage entre développement de la productivité, agrégation démographique et expansion foncière cesse d'être stable, ce qui favorise la dissolution de la logique de développement « industrie — ville — population » héritée de la civilisation industrielle. L'allocation des ressources spatiales urbaines passe du « couplage homme-territoire » au « découplage homme-territoire ». Le cœur de cette transition réside dans la rupture de l'étroite corrélation entre l'espace urbain traditionnel et la distribution de la main-d'œuvre humaine sous la civilisation industrielle : la technologie opère une recomposition transrégionale, tant au niveau virtuel qu'au niveau matériel, des relations entre population, industrie et organisation spatiale, provoquant des transformations profondes de la morphologie urbaine, de la répartition fonctionnelle et de l'utilisation des terres. En termes concrets de modèles de développement urbain, supposons qu'une ville ait pour fonction principale la production industrielle : lorsque les maillons de fabrication matérielle atteignent un haut degré de « désanthropisation », l'expansion de l'échelle industrielle perd son effet d'agrégation démographique et de stimulation de l'urbanisation. Dans la réalité, nous observons déjà cette tendance dans certaines villes : des villes manufacturières solides telles que Yancheng et Changzhou, ou certaines villes mono-industrielles, connaissent un phénomène de « découplage homme-territoire » entre contraction démographique et croissance spatiale. Certaines villes portées par les services modernes, les industries créatives et la croissance par la consommation pourraient, quant à elles, connaître simultanément une croissance démographique et une contraction spatiale — ce qui semble indiquer qu'urbanisation et industrialisation peuvent, dans certains cas, être découplées.

L'apparition de cette nouvelle tendance bouleverse profondément les concepts et les techniques de l'urbanisme contemporain. L'approche « déterminée par l'homme » de manière égalitaire ne peut sans doute pas s'adapter aux besoins de développement spatial de toutes les villes, et du moins ne reflète-t-elle pas objectivement les exigences du développement des forces productives. Particulièrement à l'échelle macro-régionale, l'allocation des ressources spatiales se complexifie, et la relation longtemps isomorphe entre localisation industrielle et localisation urbaine commence à se desserrer. Dans un cas extrême, on peut même imaginer l'émergence d'une nouvelle « ville sans homme » dominée par les fonctions de « fabrication sans opérateurs », « extraction sans opérateurs » et « ports sans opérateurs ». Dès lors, dans le cadre de la nouvelle relation homme-machine, il est nécessaire d'établir un cadre d'analyse de l'évolution 协同 « homme — machine — territoire — industrie », considérant l'homme et les machines intelligentes conjointement comme des sujets participant à la division sociale du travail et à l'utilisation de l'espace urbain : il faut à la fois réexaminer la question de la capacité de charge des espaces industriels dans un contexte de production dominée par les machines, et continuer à optimiser la qualité environnementale dans une perspective anthropocentrique ; il faut à la fois prendre en compte les gains de productivité apportés par la substitution homme-machine, et également considérer les effets sociaux liés au remplacement de la main-d'œuvre ; il faut en même

temps garantir scientifiquement l'offre et la répartition des espaces industriels, en améliorant l'efficacité spatiale. Voir figure 5.

Fig.5 Transformation de la logique spatiale de "industrie-terre humaine" à "industrie-terre humaine-machine"



3.3 Réflexions sur la construction de nouveaux modèles d'espaces industriels sous la collaboration homme-machine

3.3.1 Redistribution spatiale sous la reconstruction de la subjectivité machinique

Les machines ne sont pas des humains ; elles sont au service des humains. Mais il est incontestable que lorsque les machines acquièrent certaines capacités d'activité analogues à celles des humains, elles doivent également occuper l'espace au même titre que les humains. Toutes les machines ne pouvant pas s'intégrer dans la société humaine à faible impact, l'application à grande échelle de certaines machines finira par comprimer l'espace des activités humaines. Par analogie avec les lois évolutives du monde biologique, l'introduction des machines intelligentes en tant qu'« nouvelle espèce » dans l'ordre spatial industriel précédemment dominé par les humains impose à la relation homme-machine de traverser successivement les phases de substitution, d'adaptation et de cohabitation, puis de symbiose — produisant sous l'effet des interactions une « réaction de rejet » de l'organisme spatial, avant de parvenir progressivement à un nouvel ordre spatial de symbiose homme-machine. Pour les professionnels de la planification, la coordination et la répartition des relations spatiales entre l'homme et les machines pourraient constituer une condition implicite des futurs travaux de planification urbaine et de planification des espaces industriels : de l'organisation des réseaux de production et de logistique régionaux, de la coordination des relations port-ville et industrie-ville, jusqu'à la planification et la construction des installations complémentaires des parcs industriels, la coordination des formes et fonctions architecturales avec les systèmes de logistique avec/sans opérateurs, la couverture et la maintenance des infrastructures numériques, etc., il faut simultanément prendre en compte les besoins différenciés d'utilisation de l'espace par les humains et par les machines.

3.3.2 Rééquilibrage industrie-ville sous la désanthropisation des espaces manufacturiers

Depuis longtemps, les concepts d'« espace industriel » et d'« espace d'emploi » ne sont que deux expressions différentes d'un même type d'espace : l'espace qui porte les fonctions industrielles est celui qui absorbe l'emploi. Mais avec la clarification progressive de la tendance à la substitution homme-machine, nous constatons que le sens de cette paire de concepts a subtilement changé : les espaces industriels centrés sur la manufacture ne sont plus nécessairement capables de concentrer l'emploi, tandis que les espaces d'emploi urbains centrés sur les bureaux et la R&D présentent des caractéristiques « distribuées » et « atomisées » — les espaces industriels et les espaces d'emploi se sont découplés. Les parcs industriels voient leur fréquentation humaine et automobile décliner, tandis que les livreurs à domicile et les chauffeurs de VTC deviennent les nouveaux bassins d'absorption de l'emploi.

Par conséquent, avec la disparition des déplacements massifs entre espaces industriels et urbains, les espaces industriels et les espaces urbains doivent atteindre un nouvel équilibre. L'intégration industrie-ville et la « séparation industrie-ville » — deux tendances coexistantes — constituent une direction évolutive potentielle.

3.3.3 Corrélation et synergie entre espaces de production physiques et espaces de production virtuels

Les travaux de planification des espaces industriels traditionnels portent principalement sur les espaces matériels : les directives de type d'industrie, la zonage fonctionnel, l'organisation des transports, la conception morphologique, la disposition des équipements complémentaires, etc., sont les moyens fondamentaux dont disposent les planificateurs pour traiter ces espaces. Mais avec l'avènement généralisé de l'ère du numérique intelligent, les espaces industriels entrent également dans une nouvelle phase de développement numérisé et intelligentisé. Au-delà des espaces physiques tangibles que sont les ateliers d'usine, les sièges sociaux, les laboratoires de R&D et les points de vente, les espaces virtuels engendrés par les technologies du cloud industriel, de l'Internet industriel et du big data industriel constituent également des composants essentiels du système de production. Ces réseaux de production fondés sur les flux d'information et la puissance de calcul créent les conditions pour l'organisation transrégionale et la distribution discrète des différentes étapes — gestion, R&D, fabrication et commercialisation — des entreprises. Dans la grande tendance vers une répartition « distribuée » de la configuration spatiale de la production industrielle, bien que le code et les algorithmes ne puissent pas transformer directement l'espace matériel, ils restructurent dans une certaine mesure la logique sous-jacente de la distribution et de l'exploitation des espaces industriels, déterminant les activités des individus humains et des robots dans le système de production industrielle. Ainsi, la synergie spatiale homme-machine ne se produit pas uniquement dans les espaces industriels concrets au sens traditionnel, mais également dans les espaces numérisés. Le milieu de la planification a déjà pris conscience du rôle important de l'intelligence artificielle et des algorithmes dans l'organisation et la gouvernance spatiales. Les planificateurs doivent, dans la conception des espaces industriels, adopter davantage une pensée « en nuage », en mettant l'accent sur les caractéristiques d'organisation en chaîne et en réseau des espaces, et faire évoluer la recherche en planification des espaces industriels d'une disposition relativement statique des catégories industrielles, des grappes et des entreprises vers une approche dynamique des modèles d'organisation de la production, des étapes de production, des processus de fabrication, de la division et du ratio homme-machine, afin de mieux répondre aux besoins spatiaux différenciés des différentes catégories industrielles et des différentes étapes de production.

4 Conclusion

L'intelligence propre aux machines constitue une variable majeure qui n'avait jamais surgi dans aucune phase historique antérieure. Lorsque la vague historique du numérique intelligent et de la « substitution des humains par les machines » déferle, les machines intelligentes, tout en élevant la productivité de la société humaine, devront inévitablement « revendiquer » les espaces correspondants et devenir des usagers importants des espaces industriels. La relation homme-machine ne relève plus uniquement des domaines philosophique et éthique, mais se transforme en une question spatiale concrète.

L'étude révèle qu'un nombre croissant d'experts et de chercheurs portent attention aux

transformations spatiales engendrées par les nouvelles technologies telles que l'intelligence artificielle, avec des travaux combinant profondeur théorique et imagination, fournissant un appui de recherche important pour le développement des espaces industriels à l'ère de l'intelligence artificielle. L'étude constate également que, du fait de l'évolution technologique fulgurante, les explorations actuelles reposent encore majoritairement sur des cadres d'analyse spatiale traditionnels, manquant d'une réflexion théorique systématique sur les dernières tendances technologiques et les scénarios d'application. Le déterminisme technologique demeure l'orientation dominante, avec une réflexion relativement insuffisante sur le système socio-spatial sous l'impulsion technologique, en particulier sur l'attention portée à l'espace des humains substitués par les machines. Certes, la présente étude se limite à un survol et une interprétation limités des tendances de développement et des concepts de planification des espaces industriels futurs sous un nouvel angle d'évolution de la relation homme-machine. Des recherches plus approfondies seront menées à l'avenir sur la construction théorique et l'empirisme spatial du développement des espaces industriels dans le cadre de cette évolution homme-machine, afin de proposer de nouvelles pistes pour le développement et la planification des villes du futur à l'ère du numérique intelligent.

Notes

- ① L'« effet d'éviction » désigne le remplacement direct par les machines des postes de travail répétitifs (tels que les ouvriers de chaîne de production), entraînant le chômage d'une partie des travailleurs. L'« effet de création » désigne les nouveaux emplois engendrés par l'application de nouvelles technologies, incluant les ingénieurs mécaniciens, les ingénieurs en algorithmes, les analystes de données, etc.
- ② La montée en gamme technologique désigne l'élévation de l'efficacité de la production par l'intelligentisation des machines, tandis que le déclassement du travail désigne le processus par lequel les travailleurs, du fait de la décomposition de leurs compétences en opérations simples, sont progressivement relégués à des rôles auxiliaires, voire remplacés.
- ③ Les savoirs tacites dans la production industrielle sont les expériences intuitives et les compétences situationnelles accumulées par les travailleurs au fil de longues pratiques, difficiles à codifier — telles que le toucher de précision, l'olfaction des pannes ou les « astuces » de résolution de problèmes complexes — qui constituent l'avantage fondamental de l'homme par rapport à la machine.

Références

- [1] MUMFORD L. Technique et civilisation [M]. LIN Hua, trad. Beijing : China CITIC Press, 2025.
- [2] WANG Kai, ZHAO Yanjing, ZHANG Jingxiang, et al. Discussion académique sur les « nouvelles forces productives et la planification urbaine et rurale » [J]. Urban Planning Forum, 2024(4): 1-10.
- [3] WU Zhiqiang, YAN Juan, XU Haowen, et al. Dix thèmes clés annuels du développement de la discipline de l'urbanisme (2024–2025) [J]. Urban Planning Forum, 2024(6): 8-11.
- [4] WIENER N. L'humain à usage humain : cybernétique et société [M]. CHEN Bu, trad. Beijing : Peking University Press, 2010.
- [5] REN Xiaoming, PAN Qin. La pensée philosophique de von Neumann en informatique [J]. Studies in Philosophy of Science and Technology, 2011, 28(4): 18-22.

- [6] WANG Shijun, ZHAO Liqun, HU Zhibin. Le développement de la nouvelle génération d'intelligence artificielle et la réponse chinoise : sous l'angle de la « deuxième révolution mécanique » [J]. *E-Government*, 2020(4): 58-69.
- [7] FLORIDI L. The fourth revolution: how the infosphere is reshaping human reality [M]. OUP Oxford, 2014.
- [8] GUO Yike. Réflexions sur l'histoire, l'état actuel et la stratégie de développement futur de l'intelligence artificielle [J]. *Frontiers of Academic Forum*, 2021(23): 41-53.
- [9] WANG Chen, REN Xiangshi. De l'interaction homme-machine au calcul co-assisté : évolution de la pensée et perspectives futures de la relation homme-machine [J]. *Science & Technology Review*, 2024, 42(8): 6-20.
- [10] YU Hanchao, WANG Feng, JIANG Shuqiang. Quelques questions urgentes du développement de l'intelligence artificielle en Chine [J]. *Science & Technology Review*, 2018, 36(17): 40-44.
- [11] DONG Zhixin, YANG Jun. La logique capitaliste du développement de l'intelligence artificielle et sa régulation : à propos de Sapiens et Homo Deus [J]. *Economist*, 2018(8): 20-26.
- [12] PENG Xianyan, WANG Dan. La logique historique de la transformation de la relation homme-machine dans la perspective du matérialisme historique [J]. *Modern Business Trade Industry*, 2025(2): 176-178.
- [13] WANG Weihua, YANG Jun. Réflexion économique-philosophique sur la valeur anthropologique du développement de l'intelligence artificielle [J]. *Journal of Xi'an University of Finance and Economics*, 2022, 35(3): 54-64.
- [14] HE Jiang, YAN Shumin. Division du travail homme-machine : logique générative, types de modèles et mécanismes d'action [J]. *Nankai Business Review*, 2024, 27(6): 88-99.
- [15] EINOLA K, KHOREVA V. Best friend or broken tool? Exploring the co-existence of humans and artificial intelligence in the workplace ecosystem [J]. *Human Resource Management*, 2023, 62(1): 117-135.
- [16] LI Qiongqiong, LI Zhen. Dialectique de la « relation homme-machine » à l'ère intelligente : l'écho contemporain de la pensée marxienne sur « l'homme et la machine » [J]. *Studies in Mao Zedong and Deng Xiaoping Theories*, 2021(1): 71-79.
- [17] ZHOU Jing, XIAO Yang. Nouvelles problématiques de la recherche sur le progrès technologique et le développement urbain et rural à l'ère de l'intelligence artificielle [J]. *Shanghai Urban Planning*, 2022(5): 1-6.
- [18] HUANG Zhaoyi, YANG Dongyuan. Étude comparative des théories de la ville future [J]. *Urban Planning Forum*, 2001(1): 1-6.
- [19] BATTY M. *Inventing future cities* [M]. Cambridge : MIT Press, 2018.
- [20] WU Zhiqiang, HAN Jing, ZHAO Qian, et al. 300 ans de projets de ville future : caractéristiques et réflexions fondamentales [J]. *Urban Planning*, 2025, 49(2): 4-12.
- [21] WANG Song, HUANG Jingsnan, WANG Cunsong, et al. Conjectures sur l'évolution de l'espace urbain sous l'impact de l'intelligence artificielle : perspective de la futurologie urbaine [J]. *Urban Development Studies*, 2023, 30(12): 18.
- [22] WEI Cheng, CHEN Sainan, SHEN Jing. Tendances évolutives de l'espace urbain sous l'impulsion de l'intelligence artificielle et réponse de la planification [J]. *Urban Development Studies*, 2022, 29(7): 47-54.
- [23] YANG Yongchun, JIAN Yuting. Réformes et défis du développement de la géographie urbaine à l'ère de l'intelligence artificielle [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2024, 79(10): 2425-

2441.

- [24] XU Wenbo, WANG Xingping, WANG Yizhe. Innovation et réponse de la planification de l'espace urbain futur à l'ère de l'économie sans opérateurs [J]. *Planners*, 2024, 40(6): 39-45.
- [25] SRAFFA P. Œuvres et correspondances de Ricardo [M]. Beijing : The Commercial Press, 1997.
- [26] SATO R. The estimation of biased technical change and the production function [J]. *Quarterly Journal of Economics*, 1992, 107(1): 35-78.
- [27] ACEMOGLU D, RESTREPO P. The race between man and machine: implications of technology for growth, factor shares, and employment [J]. *American Economic Review*, 2018, 108(6): 1488-1542.
- [28] BERG A, BUFFIE E F, ZANNA L F. Should we fear the robot revolution? (The correct answer is yes) [J]. *Journal of Monetary Economics*, 2018, 97: 117-148.
- [29] MENG Hao, ZHANG Meisha. Comment l'intelligence artificielle influence-t-elle la demande d'emploi ? Évidences empiriques au niveau des entreprises chinoises [J]. *Journal of Xi'an Jiaotong University (Social Sciences)*, 2021, 41(5): 65-73.
- [30] QU Xiaobo, CHENG Jie. L'évolution de la structure de l'emploi en Chine : « montée en gamme » ou « polarisation » ? [J]. *Labour Economics Research*, 2015, 3(1): 119-144.
- [31] XU Yi, YE Xin. Montée en gamme technologique, déclassement du travail ? Étude sociologique de trois usines de « remplacement des travailleurs par des machines » [J]. *Sociological Studies*, 2020, 35(3): 23-46.
- [32] YU Lingzheng, WEI Xiahai, SUN Zhongwei, et al. Robots industriels, tâches de travail et prime des capacités non conventionnelles : evidences de l'enquête appariement « entreprise-travailleur » dans l'industrie manufacturière [J]. *Management World*, 2021, 37(1): 47-59.
- [33] ACEMOGLU D, HANSON G H, DORN D, et al. Return of the solow paradox? IT, productivity, and employment in US manufacturing [J]. *American Economic Review*, 2014, 104(5): 394-399.
- [34] DAVID B. Computer technology and probable job destructions in Japan: an evaluation [J]. *Journal of the Japanese and International Economies*, 2017, 43: 77-87.
- [35] SHAO Wenbo, SHENG Dan. L'énigme de la baisse de l'absorption d'emploi des entreprises chinoises par l'informatisation [J]. *Economic Research Journal*, 2017, 52(6): 120-136.
- [36] ZHOU L, JIE Y, YE Z, et al. Understanding the geographical process of the decline in manufacturing employment in China between 2000 and 2020 [J]. *Population, Space and Place*, 2025, 31: e2855.
- [37] KONG Gaowen, LIU Shasha, KONG Dongmin. Robots et emploi : une analyse exploratoire fondée sur l'hétérogénéité sectorielle et régionale [J]. *China Industrial Economics*, 2020(8): 80-98.
- [38] SUN Zao, HOU Yulin. Intelligentisation industrielle et transfert de gradient industriel : une re-examen de la « théorie des vol d'oies » [J]. *The Journal of World Economy*, 2021, 44(7): 29-54.
- [39] YOU Lie, CHEN Chen, ZHAO Min. Franchir le point d'inflexion de Lewis dans le développement urbain et rural chinois : réflexions théoriques et politiques suscitées par le phénomène du « remplacement des travailleurs par des machines » [J]. *Urban Planning*, 2017, 41(6): 9-17.

- [40] WANG Shubin. Mise à niveau de l'intelligentisation industrielle et différenciation de la structure hiérarchique des villes [J]. *The Journal of World Economy*, 2020, 43(12): 102-125.
- [41] WANG Linhui, JIANG Hao, DONG Zhiqing. L'intelligentisation industrielle va-t-elle remodeler la géographie des entreprises ? [J]. *China Industrial Economics*, 2022(2): 137-155.
- [42] WEI Xiahai, GUO Kaiming, WU Chunxiu. Technologie numérique, coût de la main-d'œuvre et choix de délocalisation des entreprises [J]. *Chinese Journal of Population Science*, 2021(1): 104-116.
- [43] LI X, HUI E C, LANG W, et al. Transition from factor-driven to innovation-driven urbanization in China: a study of manufacturing industry automation in Dongguan City [J]. *China Economic Review*, 2020, 59: 101382.
- [44] HUANG Meiyu, QIN Xiaozhen, ZHOU Jinmiao. « Remplacement des hommes par les machines » et nouveau modèle de croissance urbaine : cas du district de Shunde, ville de Foshan, province du Guangdong [J]. *Tropical Geography*, 2019, 39(1): 11-19.
- [45] HUANG Jingshan, YANG Shilin. L'évolution de l'espace urbain sous l'impulsion du remplacement des travailleurs par les machines et les réponses de la planification : quelques réflexions préliminaires [J]. *Urban Development Studies*, 2021, 28(3): 58-64.
- [46] HUANG Jingshan, YU Guangping, YANG Shilin, et al. De la ville industrielle à la ville post-industrielle et à la ville d'intelligence artificielle : réflexions sur l'évolution des espaces industriels urbains sous l'effet du remplacement des travailleurs par les machines [J]. *Urban Development Studies*, 2023, 30(3): 98-105.
- [47] BI Xuecheng, ZHANG Dongyin, YE Xianquan, et al. Caractéristiques et facteurs de la répartition des activités industrielles dans les mégalo-poles sous l'angle « terrain-bâti » : cas de Shenzhen [J]. *Tropical Geography*, 2025, 45(3): 374-385.
- [48] XU Wenbo, WANG Xingping, CHEN Qiuyi. Interaction entre la migration des entreprises manufacturières et l'évolution du paysage de l'innovation urbaine : étude empirique de 51 entreprises à Shenzhen [J]. *Urban Planning Forum*, 2023(3): 92-99.
- [49] RAN Aobo, YANG Dong. Stratégies de planification des nouveaux espaces industriels intelligents sous le post-fordisme [J]. *Planners*, 2023, 39(7): 16-23.
- [50] QIN Jing. Caractéristiques de la répartition spatiale des grappes industrielles de fabrication intelligente et réponse de la planification [J]. *Planners*, 2023, 39(7): 1-8.
- [51] YAN Xuexin, ZHOU Jie, SHENG Fubin, et al. Impact différencié des types d'industrie sur les flux de population employée dans les proches banlieues des grandes villes : cas de Wuhan [J]. *Economic Geography*, 2023, 43(10): 63-74.
- [52] LIN Shijia, NIU Xinyi. Caractéristiques évolutives et stratégies d'optimisation de la structure spatiale des grandes villes sous l'angle de l'adéquation « population-industrie » : cas de Shanghai [J]. *Shanghai Urban Planning*, 2024(3): 86-93.
- [53] ZHANG Zhenlong, WU Di, JIANG Lingde. Mesure du niveau de développement coordonné du couplage de la structure population-industrie urbaine et analyse des facteurs d'obstacle : cas de Suzhou [J]. *Modern Urban Research*, 2024(6): 126-132.
- [54] YIN Laisheng, ZHANG Shumin. Voies de transformation et de montée en gamme des bourgs spécialisés dans le contexte de la nouvelle industrialisation : cas du « remplacement des travailleurs par les machines » à Dalang, Dongguan [J]. *Journal of Dongguan University of Technology*, 2017, 24(4): 1-6.
- [55] JIAO Hongshuo, LU Jianxia. État de l'art sur les usines intelligentes et leurs technologies clés [J]. *Mechanical & Electrical Engineering*, 2018, 35(12): 1249-1258.

- [56] YANG Chunli. Analyse des tendances de développement des usines intelligentes en Chine [J]. *China Industry Review*, 2016(1): 56-63.
- [57] LI Wenzhu, LIANG Jianing, LI Weijian, et al. Recherche sur la réponse de la planification spatiale urbaine future sous l'impulsion technologique : cas du projet thématique de la ville future dans la planification de l'espace territorial de Heihe [J]. *Planners*, 2023, 39(3): 27-35.
- [58] CHEN Jiaping, ZENG Rong, SUN Muchen. Analyse des caractéristiques de répartition et des facteurs d'influence des usines-phares en Chine [C]// Société chinoise d'urbanisme. *Ville du peuple, planification capacitaire : Actes du congrès annuel de l'urbanisme chinois 2023*. Beijing : China Architecture & Building Press, 2023.
- [59] ZHU Kai, GU Zhiling, SUN Wanxiang, et al. Recherche sur le cadre et les modèles de micro-organisation des espaces industriels urbains pour les usines du futur [J]. *Planners*, 2023, 39(5): 61-67.
- [60] WEI Cheng, CHEN Sainan, QIU Keying, et al. Besoins et réponse de la planification aux nouveaux espaces industriels intelligents à l'ère du « remplacement des travailleurs par les machines » : cas de la conception et planification du parc industriel nord de Zhongshan [J]. *Planners*, 2023, 39(7): 24-31.
- [61] ASIMOV I. *L'intégrale des nouvelles de robots* [M]. YE Lihua, trad. Nanjing : Jiangsu Phoenix Literature and Art Publishing House, 2014.
- [62] FENG Xisheng. Le robot n'est pas un humain, c'est une machine, mais il faut le traiter comme un humain [J]. *Science and Society*, 2015, 5(2): 1-9.
- [63] LI Ting. *L'évolution conjointe de l'homme et de la machine* [M]. Beijing : Publishing House of Electronics Industry, 2014.
- [64] XIAO Junyong, ZHOU Shilin. Débat et justification de la qualité de sujet juridique des robots humanoïdes [J]. *Academic Exchange*, 2025(1): 44-58.
- [65] LI Sheng. Architecture fondamentale de la gouvernance juridique des robots humanoïdes [J]. *Dongfang Law*, 2024(3): 117-128.
- [66] EICHHOLZ L. Municipal AI integration: a structured approach [J/OL]. *Frontiers of Urban and Rural Planning*, 2025, 3(6): 152. [2025-07-05]. <https://doi.org/10.1007/s44243-025-00056-3>.
- [67] YUAN Qifeng, LI Gang, XUE Yanfu. Transformation de l'innovation et réponse spatiale de la zone de développement de Guangzhou sous l'angle des grappes industrielles [J]. *Urban Planning Forum*, 2022(4): 95-102.