

TRASPORTI

& cultura

57

rivista di architettura delle infrastrutture nel paesaggio



**RETI E STAZIONI DELLA METROPOLITANA
TRA FUNZIONALITÀ E ARCHITETTURA**

Comitato d’Onore

Paolo Costa
già Presidente Commissione Trasporti Parlamento
Europeo

Giuseppe Goisis
Filosofo Politico, Venezia

Franco Purini
Università La Sapienza, Roma

Enzo Siviero
Università telematica E-Campus, Novedrate

Maria Cristina Treu
Architetto Urbanista, Milano

Comitato Scientifico:

Oliviero Baccelli
CERTeT, Università Bocconi, Milano

Alberto Ferlenga
Università Iuav, Venezia

Massimo Guarascio
Università La Sapienza, Roma

Stefano Maggi
Università di Siena

Giuseppe Mazzeo
Consiglio Nazionale delle Ricerche, Napoli

Cristiana Mazzoni
ENSA Paris-Belleville, UMR AUSser

Marco Pasetto
Università di Padova

Michelangelo Savino
Università di Padova

Luca Tamini
Politecnico di Milano

Zeila Tesoriere
Università di Palermo - LIAT ENSAP-Malaquais



Rivista quadrimestrale
maggio-agosto 2020
anno XX, numero 57

Direttore responsabile
Laura Facchinelli

Direzione e redazione
Cannaregio 1980 – 30121 Venezia
e-mail: laura.facchinelli@trasportiecultura.net
laura.facchinelli@alice.it

La rivista è sottoposta a double-blind peer review

Traduzioni in lingua inglese di Olga Barmine

La rivista è pubblicata on-line
nel sito www.trasportiecultura.net

2020 © Laura Facchinelli
Norme per il copyright: v. ultima pagina

Editore: Laura Facchinelli
C.F. FCC LRA 50P66 L7365

Pubblicato a Venezia nel mese di agosto 2020

Autorizzazione del Tribunale di Verona n. 1443
del 11/5/2001

ISSN 2280-3998 / ISSN 1971-6524

TRASPORTI

5 RETI E STAZIONI DELLA METROPOLITANA TRA FUNZIONALITÀ E ARCHITETTURA
di Laura Facchinelli

7 ARCHITETTURE DELLE RETI E DELLE STAZIONI

di Alessandra Criconia e Anne-Grillet Aubert

9 LA STAZIONE DELLA METROPOLITANA, UN NUOVO SPAZIO PUBBLICO DI QUARTIERE

di Giovanna Bianchi e Alessandra Criconia

17 TOKYO SUBWAYS: A PUBLIC-PRIVATE TOOL TO RENOVATE THE 21ST CENTURY METROPOLIS CONGESTED SPACES

by Corinne Tiry-Ono

25 LE METRO DE SHANGHAI. HISTOIRE, ENJEUX ET PERSPECTIVES

par Colas Bazaud

33 STATIONS DE METRO, ESPACES PUBLICS ET DEVELOPPEMENT DE NOUVEAUX CENTRES A SHANGHAI. LES CAS DE XUJIAHUI ET WUJIAOCHANG

par Yang Liu et Colas Bazaud

41 LE METRO DE MOSCOU, UNE CONSTRUCTION SOVIETIQUE 1931-1954

par Josette Bouvard

51 LA METROPOLITANA DI MOSCA: CENTO ANNI DI PROGETTI URBANISTICI (1935-2035)

di Elisabeth Essaïan

61 LONDRA NELLA RETE: INFRASTRUTTURE INTERMODALI E SPAZI URBANI DELLA CITTÀ-STAZIONE

di Marco Spada e Carla Molinari

69 LA PIAZZA DELLA STAZIONE NEL 21° SECOLO: TRASFORMAZIONE URBANA E METROPOLITANA. QUATTRO ENCLAVES DI BARCELONA

di Maria Rubert de Ventos

75 IL METRÒ DI MILANO. STRUTTURA E PROGETTI FUTURI

di Paolo Beria

83 BINARI A ROMA. VIAGGIARE NELLA STORIA, TRA UTOPIA E CONSERVAZIONE

di Filippo Lambertucci

93 ARCHEO-STAZIONE DI SAN GIOVANNI, LINEA C DI ROMA, O DELL'ARCHEOLOGIA PUBBLICA

di Andrea Grimaldi

101 ARCHEOLOGIA, PAESAGGIO E CITTÀ: UN'OPPORTUNITÀ RECIPROCA

di Paolo Desideri

107 LA SCOMMESSA DEL GRAND PARIS EXPRESS

di Anne Grillet-Aubert

115 UN NUOVO SPAZIO PUBBLICO: LA STAZIONE DI CLICHY-MONTFERMEUIL A PARIGI

di Federica Morgia

cultura

123 L'ESTHETIQUE DU METRO PARISIEN: EXPLORATION D'UNE QUESTION HISTORIQUE

par Arnaud Passalacqua

131 ALTA TECNOLOGIA E PROGETTO URBANO: LA PROBLEMATICHE DELLA CITTÀ INTELLIGENTE ESPOSTA ALLA FUTIAN RAILWAY STATION DI SHENZHEN

di Cristiana Mazzoni e Flavia Magliacani

139 A LA RECHERCHE DE L'INTERCONNECTION TRAIN-MÉTRO: REGARDS CROISÉS DANS LES METROPOLES DE LILLE, RENNES ET TOULOUSE

par Philippe Menerault et Cyprien Richer

147 LA STATION DE METRO, UN CONDENSATEUR ENERGETIQUE?

par André Pény

155 NUOVI PRIGIONIERI URBANI: PONTILI PER COLLEGARE TERRITORI SCONNESSI

di Lucina Caravaggi

163 UTOPIE E ETEROTOPIE DELL'ACCESSIBILITÀ

Cristina Imbroglini intervista Walter Tocci

171 IL MONDO IN UNA STANZA: RIFLESSIONI SUI TRASPORTI AL TEMPO DEL COVID

di Giusi Ciotoli e Marco Falsetti

Subway networks and stations between functionality and architecture

by Laura Facchinelli

The subway, the backbone of the public transportation system in metropolitan cities, is a theme that is ever more open to disciplines and considerations.

The creation of a subway is a matter of structural engineering, vehicle design and scheduling of timetables throughout the day. But in this case we turn our attention not to the subway as a transport infrastructure, but rather to the stations: places conceived to handle masses of rapid transport travellers which become complex, formidable machines constantly evolving their configuration of spaces and services. The stations are architectural works excavated into the underground, which stimulate the creativity of architects to create luminous, dynamic and stimulating spatial experiences, and to lead travellers intuitively and pleasantly towards their destinations. There are significant historical examples of subways, as well as successful more recent inventions, in which the project translates into a search for collective cultural meaning and identity-building. The very existence of the stations makes them poles of attraction that concentrate a multiplicity of interests and which, if they are part of an intelligent and forward-looking urban plan, are in a position to stimulate the regeneration of the areas around them.

It seems superfluous to highlight the fundamental role of a subway network in reducing traffic and pollution, both air and acoustic, in the road network. Naturally the "underground" transport service must be coordinated with the public transport services on the surface, planning functional, convenient and safe points of interchange. A subway, with its stations disseminated across the territory, is fundamental for the future of the city's environment; the presence of a subway brings the suburbs closer to the centre of the city, facilitating the integration between its citizens, and bringing greater balance to the entire city.

By vocation, our magazine likes to look beyond our national borders. We are thus enthusiastic about working with the two editors of this issue in a collaboration between the Architecture and Planning Department of the Università La Sapienza di Roma and the École Nationale Supérieure d'Architecture in Paris-Belleville. The result is a collection of articles from professors working in different academic contexts, both of which are open to vast geographic horizons.

In the following pages, we publish research studies, analyses, narratives developed from multiple points of view. We review the history and outline the future of the Milan subway; we take a close look at the integration of the underground infrastructure in the city of Rome, where the earth produces significant archaeological discoveries. The experts from France describe the projects underway and the future plans for the Grand Paris metrò, and elsewhere in France, the infrastructure of Lille and Toulouse; they rightly examine the rich, ambitious and magnificent Moscow subway, with its long history of urban planning. There are also focuses on projects for London (intermodality and urban spaces) and Barcelona (the station as an engine of transformation). In Asia, we have explored the spaces surrounding the Tokyo subway (which has stimulated projects in the areas of access to it, both public and private) and the role of the subway in Shanghai (with its future plans for increasing efficiency in the public transport system).

Technology, aesthetics, urban planning: a subway must relate to the identity of a place and the need for renewal. Both these requirements, yesterday and today, depend on the quality of the project.

Reti e stazioni della metropolitana tra funzionalità e architettura

di Laura Facchinelli

La metropolitana, spina dorsale del sistema di trasporto pubblico nelle metropoli, è un tema più che mai aperto a discipline e suggestioni.

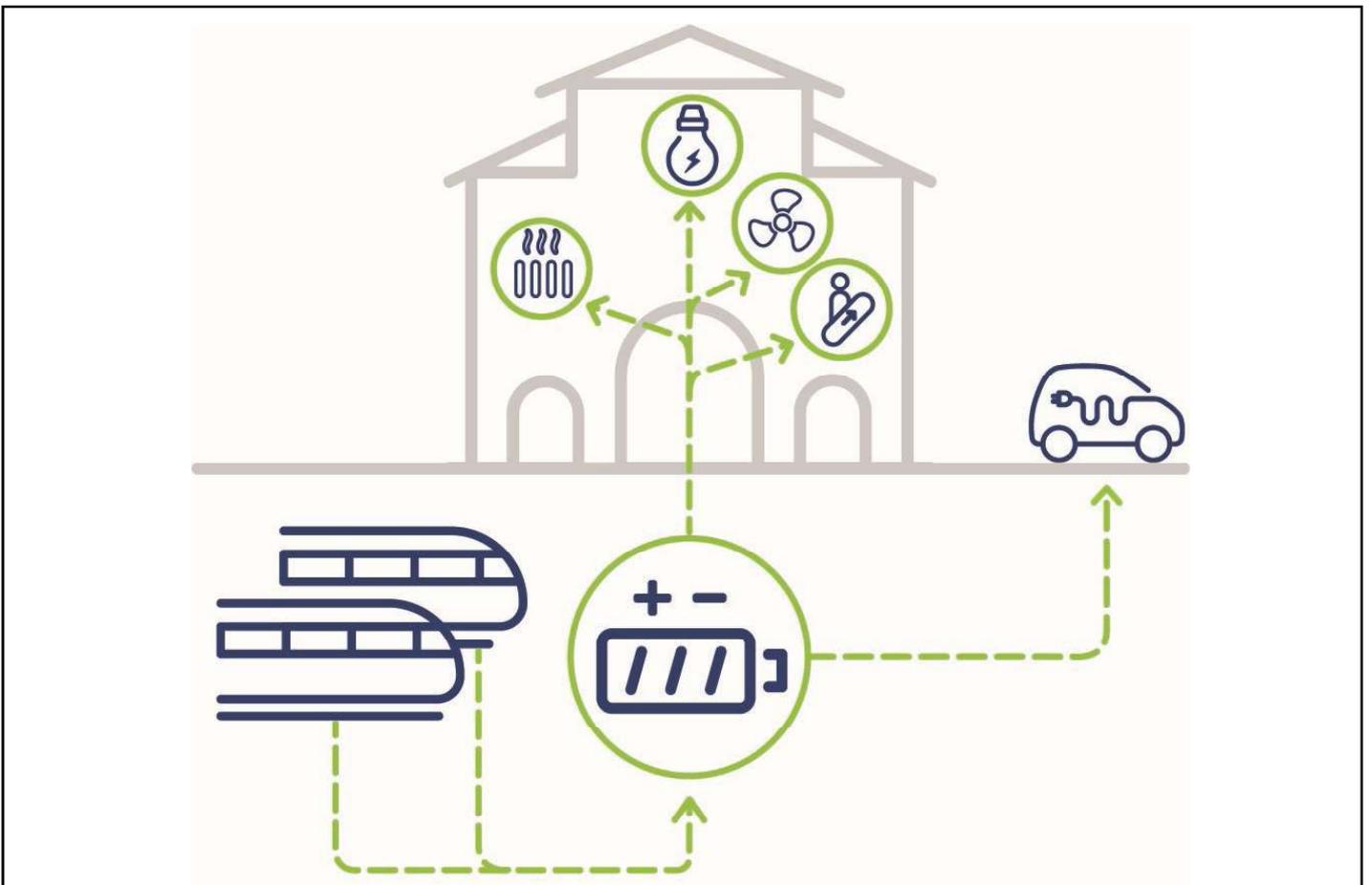
La creazione di una metropolitana riguarda l'ingegneria strutturale, la progettazione dei veicoli e la programmazione delle corse nell'arco della giornata. Ma non è tanto la metropolitana come infrastruttura di trasporto che ci interessa, in questa sede, la nostra attenzione è rivolta soprattutto alle stazioni: luoghi destinati ad accogliere folle di viaggiatori in rapido transito e quindi macchine formidabili, complesse, in costante evoluzione nell'articolazione degli spazi e dei servizi. Le stazioni sono architetture scavate nel sottosuolo, che stimolano la creatività degli architetti per creare spazialità luminose, dinamiche, stimolanti e per condurre in modo intuitivo e piacevole i viaggiatori lungo i percorsi. Di metropolitane ci sono esempi storici importanti, ma anche felici invenzioni recenti, in cui il progetto si traduce in ricerca di significati culturali e identitari per la collettività. Le stazioni, con la loro stessa esistenza, sono poli di attrazione che concentrano molteplicità di interessi e – se inserite in un intelligente e lungimirante progetto urbano – sono capaci di stimolare la rigenerazione delle aree circostanti.

È superfluo evidenziare il ruolo fondamentale di una rete di metropolitana per ridurre la congestione e l'inquinamento, anche acustico, delle arterie stradali. Naturalmente il servizio di trasporto "underground" dev'essere coordinato con i servizi del trasporto pubblico di superficie, predisponendo punti di interscambio funzionali, comodi e sicuri. Una metropolitana, con le sue stazioni diffuse nel territorio, è fondamentale per il futuro ambientale della città; la presenza di una metropolitana avvicina le periferie al centro città, facilitando l'integrazione dei suoi abitanti, e quindi rendendo l'intera città più equilibrata.

Per vocazione, nella nostra rivista ci piace lanciare lo sguardo oltre i confini nazionali. Pertanto abbiamo accolto con entusiasmo la proposta, da parte delle due curatrici, di realizzare questo numero sulla base di una collaborazione fra il Dipartimento di Architettura e Progetto dell'Università La Sapienza di Roma e l'École Nationale Supérieure d'Architecture di Paris-Belleville. Il risultato è l'affiancamento di contributi di docenti operanti in contesti accademici differenti, entrambi aperti a vasti orizzonti geografici.

Nelle pagine che seguono, pubblichiamo ricerche, analisi, narrazioni condotte da molteplici punti di vista. Ripercorriamo la storia e delineiamo il futuro della metropolitana di Milano; guardiamo con attenzione all'inserimento dell'infrastruttura sotterranea nella città di Roma, dove il terreno è generatore di importanti scoperte archeologiche. Gli esperti d'oltralpe ci raccontano gli interventi in corso e i progetti futuri per il metrò del Grand Paris e, sempre in terra di Francia, per le infrastrutture di Lille e Tolosa; doverosamente si soffermano sulla metropolitana di Mosca, ricca, ambiziosa, magnifica, legata a una lunga storia di progetti urbanistici. Poi ci sono approfondimenti sui progetti per Londra (intermodalità e spazi urbani) e Barcellona (la stazione come motore di trasformazione). Del continente asiatico abbiamo esplorato gli spazi riferiti alla metropolitana di Tokyo (stimolatrice di interventi nelle aree di accesso, anche da parte di privati) e il ruolo svolto da quella di Shanghai (che attende interventi di pianificazione e di efficientamento del servizio di trasporto pubblico).

Tecnologia, estetica, progetto urbano: una metropolitana si rapporta con l'identità di un luogo e con l'esigenza di rinnovamento. A conciliare queste due esigenze, ieri come oggi, la qualità del progetto.



La station de métro, un condensateur énergétique?

par André Pény

Les multiples disciplines qui constituent la recherche dans le domaine de la mobilité, que ce soit la géographie, la modélisation des flux, la sociologie, l'urbanisme, l'architecture ou l'économie des transports..., ont franchi au cours des récentes décennies plusieurs caps permettant d'approfondir et d'en élargir les champs. La question de l'efficacité énergétique des gares, plus récente date quant à elle d'une dizaine d'années.

Gares et stations, des hubs multiformes

Il y a maintenant longtemps que la recherche s'intéressant aux systèmes de transport collectifs urbains et plus particulièrement aux gares et aux stations a dépassé l'analyse de la simple approche fonctionnelle en terme de flux pour la conception des espaces, le dimensionnement des espaces publics ou des parcs de rabattement, des espaces techniques ou de travail.

Issue de l'ingénierie des transports, cette approche s'exprime par une image formelle liée à l'architecture des volumes et au design d'équipements spécifiques comme le mobilier urbain, la signalétique, les dispositifs d'information, de sécurité, de régulation, de ventilation ou encore de gestion des dénivelés dans les volumes réglés et architecturés par cette circulation des flux...

Depuis, la recherche s'est élargie à la prise en compte de la notion de réseau de transport et de ses impacts sur le territoire desservi, notion regroupant des lignes et des modes de déplacement divers au sein desquels les stations se retrouvent au premier plan. Ce qui n'était au mieux qu'une correspondance entre deux lignes de métro devient un point d'échange monomodal dans un premier temps puis en intégrant la provenance et les modalités d'accès des utilisateurs du métro aux gares et stations, on découvre la notion de pôle d'échange multimodal ou *hub multi-*

The underground station, an energy condenser?

by André Pény

This article deals with the late emergence of the energy issue in guided transport.

The governmental initiative for the creation of the Institutes for Energy Transition (I.T.E.) and in particular the Efficacy initiative has made it possible to inaugurate a cycle of research on stations and metro stations, after demonstrating the considerable energy consumption that stations represent in the transport system:

- The identification and measurement of the specificities of station energy consumption and resources that might include, for example, the recovery of train kinetic energy or shallow geothermal energy for underground stations.
- The expansion of energy exchanges between production and consumption to the station environment, i.e. to the built complexes (housing, offices, etc.) and to the various existing or future modes of electric road transport (buses, cars, two-wheelers, etc.).
- The implementation of a smart grid or intelligent network that allows resources and needs to be distributed and managed as efficiently as possible between the various elements, in real time or off-line, using storage systems.

Sur la page à côté, en haut: une gare du futur Grand Paris : Saint Denis Pleyel; en bas : synergie électrique-exemple de l'énergie de freinage. L'énergie de freinage des trains est stockée et redistribuée aux équipements de la station (éclairage, ventilation, chauffage, escaliers mécaniques...) ou à des besoins externes (recharge de véhicules électriques par exemple) grâce à un pilotage en continu des besoins et ressources.
@ Efficacy

modal. Sa consistance fonctionnelle et servicielle s'en trouve enrichie ainsi que les liens avec l'organisation urbaine autour du pôle, que ce soit en terme de localisation des activités ou d'aménagement des espaces publics. (Amar, Pény et Stathopoulos, 1993)

Ce passage sous forme de zoom du point au pôle et du mono au multimodal va s'accompagner de réflexions et de mises en œuvre de services de plus en plus précis liés aux typologies des usagers et des usages, aux temps et aux espaces dans lesquels s'effectuent ces échanges, pour tenter de démêler l'écheveau des complexités qui se donnent à voir. Autour des services de transport ou d'information, des commerces liés à la restauration, à l'alimentation ou à la personne, des services administratifs, culturels ou sociaux on parlera de hub de services : de multiples recherches s'en sont faites échos ou forces de propositions qui ont décliné les classements, les hiérarchies et les résultats en termes de succès ou d'échec, fonction des divers contextes réalistiques et urbains dans lesquels se trouvent les stations en question. (Joseph (dir.), 1995 et 1999)

Sur les nœuds du réseau s'implantent donc des prestations servicielles de tout ordre mais les stations et gares sont aussi à part entière des lieux du quartier, de la ville, de l'agglomération au même titre que d'autres grands équipements, commerciaux, culturels ou récréatifs. Non pas des lieux traditionnels au sein desquels on réside, marqués par l'immobilité, l'appropriation et le caractère résidentiel mais des lieux marqués par le passage, l'échange éphémère et la relation partagée (Augé 1992). A ces diverses échelles, le choix de la localisation d'une station, de son implantation, de son accessibilité, ainsi que de ses impacts économiques, sociaux et spatiaux sur le territoire conforte la démonstration de son rôle de véritable *hub urbain*, équipement spécifique certes mais structurant pour la métropole (Cerema 2017).

Si les notions de hub multimodal, de hub de services ou encore de hub urbain ont été anticipées, accompagnées et analysées par les diverses composantes de la recherche s'exerçant dans le domaine des transports et de la mobilité, une nouvelle notion est apparue récemment, celle de *hub énergétique* : angle mort de la recherche tant socio-économique que technique dans le domaine des transports guidés, nous allons maintenant apporter un éclairage sur son émergence récente ainsi que sur ses contours.

Il ne conviendrait pas ici, au travers d'un

détour historique lointain, de vouloir piller ou détourner la richesse du concept de « condensateur social et urbain » élaboré par les constructivistes russes dans les années 20. Il s'agit de lui rendre plutôt un hommage car si le terme de condensateur comme équipement industriel a été élaboré à partir des techniques de distribution de l'électricité, il a servi de manière métaphorique pour désigner et magnifier certains grands équipements collectifs destinés à faire émerger l'« homme nouveau » après la révolution soviétique (Kopp A., 1967).

Au travers de cette image de la « fée électricité » née il y a maintenant près d'un siècle il est intéressant de noter l'actualité de cette thématique de l'énergie, non plus sous l'angle d'une puissance infinie destinée à transformer positivement le monde mais dans la recherche subtile d'un équilibre entre la maîtrise de sa consommation et de ses impacts d'une part et la préservation des valeurs de nos sociétés, dont la mobilité est une composante forte.

L'énergie, une préoccupation renouvelée

C'est cette démarche que nous allons maintenant présenter, au travers de l'implication de l'institut de recherche Efficacy auprès des acteurs ferroviaires traditionnels. Il s'agit d'une démarche à la fois théorique et conceptuelle pour définir les articulations de la gare avec son environnement énergétique ou la caractérisation des ressources et des consommations de l'ouvrage, mais aussi opérationnelle par la mise en place d'outils de mesure, de modélisation pour in fine définir des stratégies d'optimisation énergétique pour les gares et stations.

Dans le cadre du PIA (Plan d'Investissement d'Avenir), l'Etat français a lancé une initiative sur les questions énergétiques : il s'agit d'un appel à manifestation d'intérêt visant à retenir et financer un certain nombre d'ITE (Institut pour la Transition Énergétique) dont l'originalité réside dans le regroupement de partenaires publics (centres de recherche) et privés (grands groupes). Leur mission est de développer des projets de recherche communs devant aboutir à des mises en œuvre opérationnelles dans différentes filières énergétiques industrielles (par exemple l'éolien marin, le solaire photovoltaïque, le transport de l'énergie, la biomasse et les nouveaux carburants, le véhicule du futur...).

Parmi les propositions d'instituts retenues

par l'Etat se trouve celle d'Efficacity qui a pour objet de promouvoir l'efficacité énergétique de la ville durable au travers d'un partenariat regroupant les laboratoires de recherche du pôle scientifique de Marne la Vallée (laboratoires de l'université, des écoles d'architecture et d'ingénieurs...) et les grands groupes industriels concernés (ENGIE, RATP, EDF, VEOLIA...) : différents projets de recherche-action ont ainsi vu le jour sur le thème de l'énergie dans la ville, portés par de multiples disciplines qui travaillent sur le sujet. C'est dans ce cadre que le programme de recherche sur les transports et notamment les stations a vu le jour, dont nous allons maintenant examiner le contexte.

D'un point de vue global, l'ensemble des systèmes de transport représente au niveau national un tiers de la consommation énergétique de la France dont la très grande majorité provient de la consommation de pétrole des véhicules particuliers (VP), des bus et des poids lourds. Mais même si le voyageur d'un train ou d'un métro consomme en moyenne dix fois moins d'énergie au kilomètre parcouru que celui d'une voiture particulière, il n'en reste pas moins que le coût de la consommation électrique des systèmes de transport collectifs (TC) ferroviaires est considérable et en constante augmentation (+7,5% par an pour la RATP ces dernières années).

La SNCF au niveau national comme la RATP au niveau de la région Ile de France sont les premières entreprises consommatrices d'énergie électrique, qui s'exprime en milliards de KWh : si la plus grande part de la consommation énergétique des systèmes ferroviaire lourds urbains, c'est-à-dire les métros, les tramways et les trains de banlieue, est due au fonctionnement des véhicules ou traction, la part des gares et stations de métro représente tout de même un tiers de cet ensemble soit donc la moitié de l'énergie de traction : pourcentage partagé par les grands opérateurs que sont la RATP et la SNCF ainsi que par la Société du Grand Paris (maître d'ouvrage des futures lignes du Grand Paris) dans ses prévisions.

Pour donner quelques chiffres, une station de métro consomme, fonction de sa taille, l'équivalent de 45 à 270 logements (de 70 m²) et une grande gare de train 255 logements (Galai-Dol, Letrouvé, 2018) De plus on constate une tendance haussière du poids relatif des stations dans la consommation du système ferroviaire de la ligne : d'un côté l'efficacité énergétique de la motorisation des trains s'est améliorée et grâce aux automatismes de conduite la récupération de

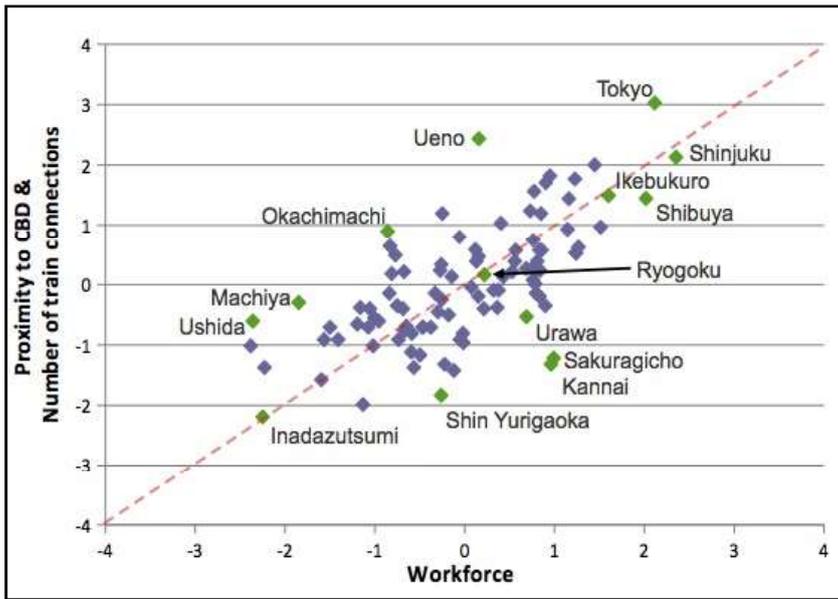
l'énergie de freinage des rames et leur réutilisation optimale par les autres trains de la ligne s'est accrue ; d'un autre côté, les stations récentes ou réaménagées nécessitent plus d'espace, plus d'équipements et plus de confort dont le fonctionnement est couteux en énergie, faisant passer la part des stations dans la consommation de la ligne d'un quart lors des décennies précédentes à un tiers actuellement.

Mais la consommation du matériel roulant a longtemps focalisé la recherche sur les véhicules, au détriment des gares et stations. Coté RATP la stratégie énergétique de l'entreprise est actuellement focalisée sur les bus propres et économes même si le remplacement de 250 000 points lumineux par des lampes Leds dans les stations de métro, validé par une diminution de 50% de ce poste de consommation, est un premier pas. Coté SNCF, plusieurs expérimentations, de mesures puis de mises en œuvre ont eu lieu ces dernières années dans différentes gares, Versailles, Pont-Leveque, Aix en Provence..., pour instrumenter des gares, mettre en œuvre des ressources renouvelables et en tester le pilotage (Gazeigne, Letrouvé, 2017). Arep, filiale d'ingénierie et d'architecture de la SNCF, a repris la thématique de l'énergie au travers de ses projets de nouvelles gares à l'étranger, en se rapprochant de la certification internationale BREEM dans une approche énergétique de la gare considérée comme un bâtiment, par exemple celle de Quinghe en Chine (Arep, 2019).

La gare comme hub énergétique ?

Ce sont les caractéristiques de ce contexte qui ont retenu l'attention de l'Institut pour la Transition Énergétique (ITE) Efficacity, pour en faire un de ses champs de recherche privilégié (Efficacity, 2014) (Pény, 2016) L'efficacité énergétique promue dans l'Institut Efficacity s'est déclinée dans le programme « pôle gare » autour des deux objectifs suivants :

- des recherches sur la consommation et l'optimisation des échanges d'énergie internes et externes au pôle gare : la gare peut devenir un hub énergétique urbain par ses ressources spécifiques (énergie de freinage, énergie géothermique pour les stations neuves, chaleur issue des équipements) et ses liens et échanges potentiels avec les modes de transport urbains électriques (tramways, bus et véhicules



1- Le modèle Node-Place ou Noeud et Lieu. Exemple de classement des gares en fonction des valeurs de transport (Nombre de trains et distance au CBD) et de leur urbanité (nombre d'emplois). @ Bertolini, Chorus, 2011.

2- Sur la page suivante, en haut: synergie thermique. L'échange entre le milieu souterrain à température constante et la station se fait grâce à un liquide caloporteur qui va servir à refroidir des installations techniques, chauffer des locaux ou encore irriguer en besoins thermiques des opérations connexes à la station, bureaux, commerces ou habitat. @ Efficacy.

3 - Sur la page suivante, en bas: Schéma de principe de micro Smart Grid en gare.

particuliers (VE) ou de livraison électriques, vélos et trottinettes électriques, ... qui constituent l'écosystème de l'électromobilité), mais aussi les bâtiments, équipements et services du quartier environnant. Or les gares sont par construction et fonctionnement actuellement isolées énergétiquement de leur environnement comme du réseau d'alimentation des rames, ce qui empêche l'échange et la réutilisation de ces ressources.

- un développement des services orientés vers l'efficacité énergétique : que ce soit au niveau de la gare elle-même ou bien du quartier environnant il s'agit de développer de nouveaux services de proximité moins énergivores. Cela s'entend dans leur fonctionnement mais aussi dans leur localisation et leur accessibilité, c'est-à-dire en privilégiant le fait qu'un service près ou dans la gare est plus intéressant ici qu'ailleurs dans le territoire, non plus du seul point de vue marchand mais de celui de la transition énergétique. Le développement de services est entendu pour les voyageurs mais aussi pour les marchandises : gare et infrastructure mutualisée voyageurs et fret, station comme point de rupture de charge pour les marchandises, modes de transport dédiés pour le fret ou mixte fret et voyageur, colis à destination des usagers de la gare,... Le travail multi-échelle et multi-acteurs réalisé pour la SNCF et les collectivités locales du pays de Fontainebleau illustre bien cette thématique de l'élargissement et de l'ancrage des services dans le territoire (Cerema et al., 2017).

Pour répondre à ces objectifs, la démarche

d'Efficacy à la fois pluridisciplinaire et multi-partenaires est plutôt originale au regard du type d'ouvrage que sont les stations de métro et des méthodes de programmation habituellement cloisonnées : les grilles d'analyse, les outils d'aide à la décision et les préconisations qui ont vu le jour ne sont pas limitées à une approche traditionnelle visant la sobriété énergétique pour chaque sous-système ou composant de la gare. La solution en cours de développement par Efficacy s'intègre dans un périmètre plus large et systémique.

Plus large car au lieu de s'intéresser à la seule gare, par exemple en remplaçant les tubes fluorescents de l'éclairage par des tubes Leds plus économes, elle va prendre en compte la gare dans son environnement énergétique c'est-à-dire en envisageant les besoins et ressources de la gare en connexion avec l'énergie ferroviaire et celle du quartier dont les besoins et rythmes de fonctionnement peuvent s'harmoniser et se compléter.

Concernant l'énergie de freinage des trains, cette dernière qui représente environ 40% de l'énergie liée à la traction des rames, n'est que partiellement réutilisée au sein du carrousel de la ligne dans l'échange entre trains, quand un train qui freine coïncide avec un autre qui accélère au même moment. Cette ressource énergétique, actuellement dissipée en chaleur quand il n'y a pas coïncidence, peut être utilisée par la gare, renvoyée sur le réseau électrique ou encore stockée pour une utilisation ultérieure au meilleur moment.

Pour réussir l'articulation de la gare avec le quartier les trois points clés à prendre en compte sont les suivants : la localisation de la gare, la synergie à trouver entre fonction urbaine et fonction transport et enfin la question de l'accessibilité au hub.

La localisation de la gare peut s'entendre à plusieurs échelles : d'une part au niveau métropolitain, l'optimisation du point de vue du réseau de transport permettra une meilleure zone de couverture du territoire et permettra des reports modaux entre la voiture et les TC; mais à cette grande échelle métropolitaine l'optimisation énergétique est affaire de conception de réseau régional et non de station dans son environnement.

C'est au niveau du secteur, de la maille locale du tissu urbain ou du quartier, zone dense ou non, pourvue d'une mixité d'activités ou non, déjà centralité locale ou en devenir..., que les échanges entre la gare et le territoire seront les plus intéressants, y compris du point de vue énergétique. Des straté-

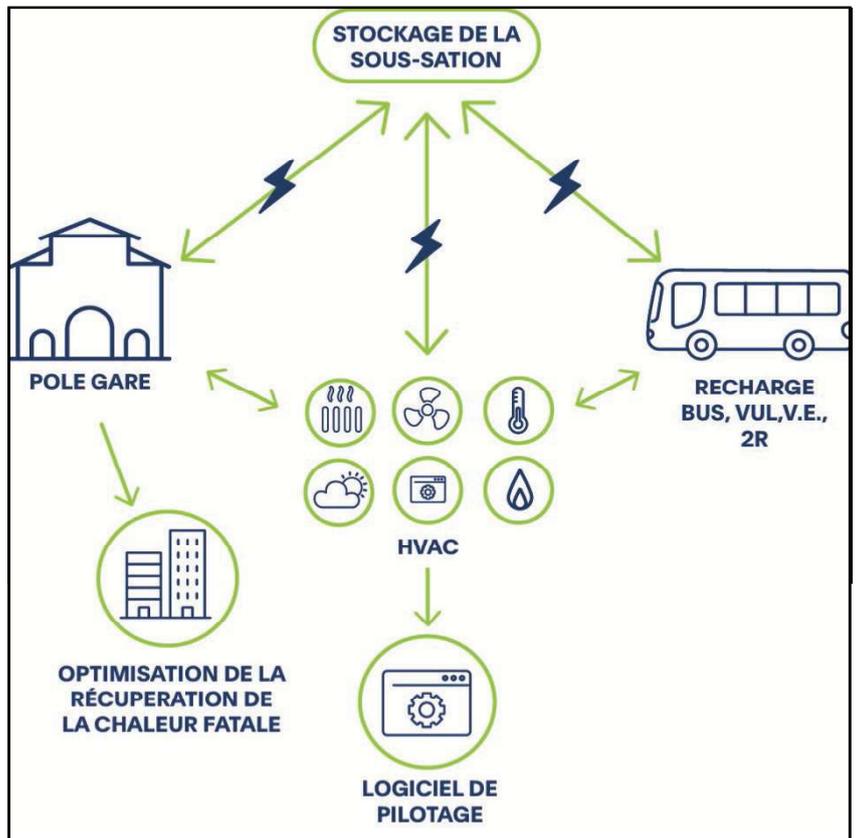
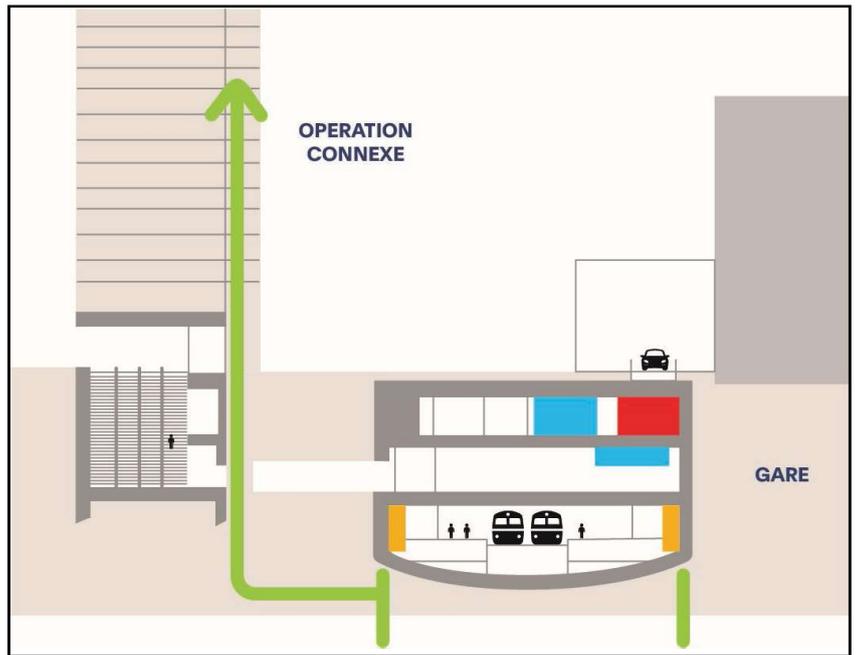
gies pourront être élaborées en fonction du contexte géographique, du potentiel de développement et des partenariats possibles entre les acteurs du site.

On peut qualifier la gare ou la station du point de vue de la mobilité ou du point de vue de la ville. Pour le dire autrement elle est un point, un nœud du réseau mais c'est aussi un lieu de la ville. L'idée d'élargissement des aspects énergétiques à l'environnement de la gare trouve ici toute sa place : en améliorant les services et le confort aux usagers par la recherche d'un équilibre entre les fonctions nodales et les fonctions urbaines, on va, moyennant quelques conditions, améliorer le bilan énergétique du quartier. Envisagée de manière plus globale, la variété des activités, leurs caractéristiques et leurs modalités de fonctionnement dans le temps seront à priori plus profitables à une meilleure répartition des consommations énergétiques. Par exemple, des capteurs sur les toits des bureaux utiles à l'immeuble en semaine, pourront alimenter d'autres activités le week-end; autre exemple, le surplus d'énergie de la station, stocké au fil de la journée, alimentera en heure de pointe la recharge de véhicules électriques de particuliers, de livraisons ou de bus...

Mais comme évoqué précédemment en comparant les consommations par mode (VP vs TC) le principal gain énergétique et environnemental est peut-être le simple report de la VP sur les TC ferroviaires dans la mesure où la consommation énergétique y est environ dix fois moindre. Il est aussi lié aux reports qui peuvent être faits par la promotion des modes actifs et de l'écomobilité dont toute une palette peut se déployer en fonction des besoins surtout lors des trajets courts qui constituent le champ de la micro-mobilité. N'oublions pas que dans les agglomérations françaises 40% des trajets réalisés en voiture sont inférieurs à 3 km !

Si la marche à pied requiert un minimum d'aménagements de confort et de sécurité, cela est dû à son côté basique et naturel, mais elle est vite limitée par la distance à parcourir (au-delà de 1 à 2 km...) et donc le temps d'accès. Face au danger et à la prédominance de l'automobile en voirie le recours au vélo nécessite lui des aménagements sur le trajet, et la prise en compte sérieuse de critères de sécurité, d'aisance de circulation, de lisibilité et d'ambiance devra être complétée par les conditions de stationnement des vélos dans ou à proximité de la gare, intégrant confort et sécurisation.

Enfin le vélo à assistance électrique (VAE),



les trottinettes électriques ou encore les VE, chacun avec leur pertinence, utilisés en individuel ou en mode partagé constituent de récents entrants dans les déplacements urbains courts. Susceptibles de renforcer l'accessibilité et l'attractivité de la gare Ils nécessitent de bien en penser les équipements de stationnement et de recharge nécessaires à l'accueil sur le site.

Par une approche systémique on s'aperçoit

que les rythmes de fonctionnement des divers appareillages sont très variables (fonctionnement 24/24, lié à l'heure de pointe ou aléatoire...) et constituent autant de familles de profils de consommation que l'on peut alors optimiser par un pilotage global fin. D'autant plus global que l'on sera capable d'intégrer les deux grandes dimensions de la consommation énergétique, l'électrique et le thermique : en effet, la ventilation par exemple ou le refroidissement des locaux techniques sont de gros consommateurs d'électricité, mus en grande partie par des impératifs thermiques, de confort et de qualité de l'air intérieur (QAI).

Aussi la réponse que propose d'apporter Efficacity à cette question complexe est la mise en œuvre d'une architecture de smart-grid locale (ou micro-grid) dont les caractéristiques sont les suivantes :

L'identification des ressources énergétiques nouvelles spécifiques aux gares : à côté de l'énergie de freinage déjà évoquée, la conception des stations de métro souterraines peut permettre de recourir à la géothermie faible profondeur (entre 10 et 40 m par opposition à la géothermie nécessitant des forages dans des couches du Dogger, à 1500 m de profondeur pour trouver de l'eau à 60 degrés. On parlera de fondations thermoactives assurant l'échange de chaleur par une boucle fermée.

En effet des tubes en polypropylène remplis d'un liquide caloporteur sont coulés dans le béton des fondations de la station, parois moulées ou radiers et permettent de récupérer une eau à 8 ou 10° pour un refroidissement naturel des espaces (par exemple certains locaux techniques ou commerciaux qui nécessitent en milieu souterrain des climatisations couteuses et énergivores) ou via une pompe à chaleur pour une montée en température assurant un chauffage de locaux en station.

Si la conception de la station est réalisée en synergie avec les bâtiments au-dessus et autour on peut élargir le champ de la diffusion de cette énergie thermique à leur chauffage ou refroidissement (Pény, 2017).

On peut penser aussi à l'utilisation directe de l'énergie dite « fatale » des locaux techniques. Il s'agit du dégagement de chaleur résiduelle issue de l'activité de certains équipements comme les transformateurs d'alimentation électrique, qui peut être mise à profit pour, via un échangeur, chauffer d'autres types de locaux.

Pour intégrer la sobriété énergétique des équipements, les échanges dans l'espace et

dans le temps de ces flux d'énergie traditionnelle ou nouvelle ainsi que leur stockage, il est nécessaire de mettre au point différents outils :

- un système d'instrumentation des consommations électriques et des principales données d'entrée QAI pour les gares (température, humidité, CO2 et pollution), assez fin par type d'équipement et permettant des mesures en temps réel. Ainsi la station Olympiades du métro L14 et la gare de Val de Fontenay commune à la RATP et la SNCF ont récemment servi de test pour ces mesures nouvelles.
- des modèles de différentes natures pour le dimensionnement, la simulation et les impacts permettant des stratégies d'exploitation variées intégrant la planification des consommations connues et l'ajustement en temps réel de besoins ponctuels.
- l'identification du périmètre possible et souhaitable du micro grid à réaliser puis la connexion des différents équipements et dispositifs susceptibles d'être alternativement consommateur, stockeur ou producteur d'énergie, qui nécessite de résoudre des problèmes techniques et architecturaux mais aussi de gouvernance entre les multiples acteurs de ce périmètre. Efficacity a engagé un partenariat avec l'École d'architecture de la ville & des territoires Paris-Est sur un approfondissement des dispositifs architecturaux souterrains spécifiques aux gares du point de vue énergétique (Bureaud et al., 2017).
- un système de pilotage favorisant l'adaptation des modes de fonctionnement des équipements aux justes besoins de l'exploitation, comme une gestion souple de la ventilation, un écrêtage des consommations en heure de pointe, une optimisation du stockage sur le court et long terme, une gestion de la recharge de véhicules électriques en surface... Un autre exemple en cours d'expérimentation porte sur les diverses formes de variation de l'éclairage en station, en fonction des jours, des heures, des espaces, sur le site de Val de Fontenay précédemment évoqué, en partenariat entre Efficacity, ABB et les opérateurs de transport...

Pour que la station de métro devienne un hub énergétique dont l'impact, comme celui que l'on peut constater dans le domaine fonctionnel du transport, dépasse l'ouvrage de la station stricto sensu et se fasse sentir sur le territoire de desserte de la gare, il faut absolument prendre en compte cette maille

locale élargie, dans toutes les dimensions évoquées précédemment ;

Historiquement l'approche énergétique des opérateurs de transport est de type réseau d'alimentation fermé avec sa production propre, une transformation descendante de la haute vers la basse tension et une distribution vers les stations entendues comme des points de consommation isolés. Lui substituer des réseaux urbains de proximité ouverts et communicants au sein desquels les stations alternativement lieux de consommation et de production redonnent du sens à la notion de « condensateur » énergétique, représente un enjeu considérable sur plusieurs plans.

En effet pour que ce changement de paradigme énergétique ne reste pas un fantasme d'innovateurs, il faut combiner la technique qui le rende possible et la conviction qui le rende crédible, car derrière le terme « soft » de transition énergétique c'est plutôt d'une révolution des techniques et plus encore des mentalités qu'il s'agit de mobiliser (Rifkin 2013).

Ces changements sont actuellement en cours d'étude ou en cours d'expérimentation sur différents sites avec les partenaires de l'institut Efficacy. Le milieu ferroviaire est encore peu soumis aux grandes contraintes normatives touchant à la pollution ou à la consommation énergétique qui impactent fortement le secteur du bâtiment ou celui de l'automobile tels que les RT (Réglementation Thermique), normes Euro, labels HQE (Haute Qualité Environnementale)... Il est rentré de fait avec retard dans l'ère de l'optimisation énergétique mais au-delà des résultats spécifiques aux différents contextes des projets évoqués, un travail pratique de structuration des acteurs est en cours afin d'aboutir à un label énergétique ou équivalent pour les gares, tant au niveau français qu'à l'international.

© Riproduzione riservata

Bibliographie

Amar G., Pény A., Stathopoulos N. (1993), *Formes et fonctions des points-de-réseaux*, ed. Flux 12, Avril -Juin 1993.

Arep, Cerema, Efficacy (2017), «Fontainebleau-Avon. Le relais des possibles», Arep, *Gare de Quinghe*, Texte disponible sur https://www.arep.fr/actualites/294/qinghe_au_palmares_du_grand_prix_afex_2020 (dernier accès mai 2020).

Augé M. (1992), *Non-lieux. Introduction à une anthropologie de la surmodernité*, Edition du Seuil.

Bertolini L., Chorus P., «An application of the node place model to explore the spatial development dynamics of station areas in Tokyo», *The Journal of Transport and Land use*, VOL. 4 N°1, 2011, <http://jtlu.org>

CEREMA ouvrage collectif (2017), *Les pôles d'échanges au service de l'intermodalité et de la ville durable*. Editions du CEREMA.

Efficacy (2014), *Programme book pôle gare*.

Joseph I. (dir) (1995), *Gare du Nord mode d'emploi*. Editions Recherches.

Joseph I. (dir) (1999), *Villes en gare*. Editions de l'Aube.

Galai-Dol L., Letrouvé T., La « Smart gare » un microgrid urbain. Texte disponible sur <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=ferroviaire-smartgare> (dernier accès mai 2020).

Letrouvé T., Gazeigne G., *La flexibilité énergétique des transports guidés*. Texte disponible sur <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=ferroviaire-flexibilite-energetique> (dernier accès mai 2020).

Bureaud C., Coutellec C., Jestin A.C., Rozé J. et de La Taille A., (2017), *Les gares et l'urbanisme souterrain. Approche architecturale et énergétique*. Ed. Les Cahiers de PoCa, École d'architecture de la ville & des territoires.

Kopp A. (1967), *Ville et révolution. Architecture et urbanisme soviétiques des années vingt*. Ed. Anthropos.

Arep, Cerema, Efficacy (2017), *Fontainebleau-Avon. Le relais des possibles*, <https://www.efficacy.com/realisation/divd-le-relais-des-possibles-la-gare-de-fontainebleau-avon-et-son-territoire-en-transition>

Arep, *Gare de Quinghe*, Texte disponible sur https://www.arep.fr/actualites/294/qinghe_au_palmares_du_grand_prix_afex_2020 (dernier accès mai 2020).

Pény A. (2016), *La gare hub énergétique*. Ed. actes du symposium de la WCTR.

Pény A. (2017), *Gares et stations souterraines en France : un potentiel énergétique thermique et électrique à développer*. Congrès AFTES communication 595.

Rifkin J. (2013), *La troisième révolution industrielle*. Ed. Babel.