

2001
PLUS...



L'URBANISME SOUTERRAIN AU JAPON



Centre de Prospective et de Veille Scientifique
Direction de la recherche et des affaires scientifiques et techniques
Ministère de l'Équipement, des Transports et du Tourisme

Succédant à UTH 2001, 2001 PLUS est le label commun de documents diffusés par le Centre de Prospective et de Veille Scientifique de la Direction de la Recherche et des Affaires Scientifiques et Techniques, elle-même située au sein du ministère de l'Équipement.

L'objectif de cette publication est de contribuer à une réflexion prospective sur les villes, l'habitat, l'équipement, les transports ou l'environnement en partant d'idées ou d'expériences intéressantes développées à l'étranger et en mobilisant à cet effet travaux, documents, articles, textes de loi, compte rendu de recherche, analyses de politiques publiques difficilement accessibles en France. Chaque numéro de 2001 PLUS présentera donc, sur un thème déterminé, un ou plusieurs textes significatifs, concernant le plus souvent mais non exclusivement un pays européen, resitués dans leur contexte et commentés par un expert. Si UTH 2001 avait cherché à accompagner la mise en place de l'Acte unique européen et du grand marché, 2001 PLUS se situe dans la perspective de la mondialisation et de la globalisation des économies. Les documents diffusés porteront donc aussi bien sur l'Asie du Sud-Est, le continent américain ou l'Europe de l'Est que sur les pays de la Communauté. Nous souhaitons, à terme, que 2001 PLUS devienne un support de liaison et d'identification entre tous ceux qui, en France ou en Europe, sont concernés par les débats et enjeux prospectifs dans les domaines de l'urbanisme et de la gestion des villes, de la construction, de l'habitat, de l'environnement et des transports.

Documents disponibles :

- 01/04 Planification spatiale et aménagement du territoire aux Pays-Bas (J.C Boyer - 1988) :
- 05 Les politiques urbaines du Royaume-Uni depuis 10 ans (H. Huntzinger - 1989)
- 06 La fiscalité locale sur les entreprises au Royaume-Uni et en Allemagne (H. Huntzinger - 1989)
- 07 La Hollande en 2015 : résumé officiel du 4ème rapport sur l'urbanisme et l'aménagement du territoire (Ministère du Logement, de l'Urbanisme et de l'Environnement - 1988)
- 08 Télétopia : la ville et les systèmes d'information au Japon (R. Piorunski - 1989)
- 09 Prospective de l'exploitation de la route (A. Vivet - 1989)
- 10 Urbanisme et économie en RFA (H. Huntzinger - 1989)
- 11 Les acteurs du génie urbain : évolution internationale (G. Mercadal - 1989)
- 12 Acteurs sociaux et mutations urbaines (A. Touraine - 1987)
- 13 Influence de la grande vitesse sur la restructuration de l'espace européen (A. Bieber - 1989)
- 14 Comment décongestionner les axes routiers de la Randstad Holland ? (J.C. Boyer - 1990)
- 15 Les quatre révolutions logistiques (Ake Andersson - 1986)
- 16/17 Le transport dans les années 90 : la formation de l'Europe (T. Bendixson - 1989)
- 18 Les technologies de l'information et la ville dans l'Europe de 1992 (M. E. Hepworth - 1990)
- 19 Consultation publique et aménagement du territoire aux Pays-Bas (J.C. Boyer - 1990)
- 20/21 Numéro spécial
- La métropole parisienne : système productif et organisation de l'espace Equipe "Strates" (Félix Damette et Pierre Beckouche - 1990)
- 22 La réforme anglaise de la planification spatiale : étude du plan de développement unitaire de Birmingham (Alain Motte - 1990)
- 23 Allemagne : Structures temporelles et développement urbain (DIFU)
- 24 Suède : La vie dans les métropoles : des chances à saisir, des difficultés à surmonter. Quelles politiques mettre en oeuvre ? (H. Huntzinger - 1991)
- 25 Réserver l'habitat social aux ménages à faibles revenus aux Pays-Bas (J.C. Boyer - 1991)
- 26 La recherche urbaine en Allemagne (H. Huntzinger - 1992)
- 27 Le syndrome NIMBY (Michaël Dear - 1993)

Comité de lecture : Ariel Alexandre (OCDE), François Ascher (PCA), Bernard Barraqué (LATTS-ENPC), Philippe Blancher (Economie et Humanisme), Olivier Coutard (EDF-Groupe Réseaux), Philippe de Lara (LATTS-ENPC), Dominique Drouet (RDI), Yves Geffrin (DRAST), Hervé Huntzinger (TETRA), Jean-François Langumier (COFHUAT), Jean-Pierre Orfeuill (INRETS), Roger Perrinjaquet (Ecole Polytechnique de Lausanne), Franck Scherrer (Inst. d'urbanisme de Lyon), M. Watcher (DATAR)

Directeur de la publication : Jacques Theys, responsable du Centre de Prospective et de Veille Scientifique

Secrétariat de rédaction et correspondance : Marie-José Roussel, tél : (1) 40.81.63.72

DRAST Tour Pascal B - 92055 Paris-La Défense Cédex 04

Conception, réalisation et diffusion : Monique Duhamel et Dominique Dessagnes, tél : (1) 40.81.63.29 ou 63.37

PRESENTATION

Octobre 1993

28

Sommaire

	pages
<i>Présentation</i>	1
Le patrimoine souterrain	3
<i>. Les principales voies suburbaines japonaises</i>	4
L'enjeu du XXI^e siècle	5
Tokyo	6
<i>. Projet Alice</i>	7
<i>. Projet GIA</i>	8
<i>. Projet ODYSSEIA 21</i>	9
<i>. Projet HyMac, Géotropolis</i>	10
Recherche et Développement	11
<i>. Projet Néo-Edo</i>	12
Robotique	13
Conservation de l'énergie	14
<i>. Projet de centrale nucléaire</i>	15
Sécurité	16
Conclusion	17

L'architecture souterraine n'est pas un fait nouveau ; de tout temps les hommes ont utilisé le sous-sol à des fins religieuses (tombeaux, catacombes), industrielles (mines), ou militaires. En revanche l'urbanisme souterrain reste encore une idée prospective, et le Groupe d'Etudes du Centre Urbain Souterrain (GECUS) fondé en 1933 par Edouard UTUDJIAN, architecte visionnaire, n'a pas eu de véritable postérité. Aujourd'hui pourtant, du fait de la concentration urbaine, l'usage du sous-sol s'intensifie, se diversifie... et fait l'objet de convoitises multiples et parfois contradictoires. Signe de ce renouveau d'intérêt, un Congrès mondial de l'Espace Souterrain se tiendra à Paris en 1995.

Ce développement des espaces souterrains pose de nombreuses questions : quelles sont les fonctions urbaines susceptibles d'être enterrées ? Quels surcoûts (ou économies) ces espaces engendrent-ils ? Comment l'homme (usager occasionnel, ou travailleur quotidien) s'y adapte-t-il ? Une extension de l'urbanisme souterrain est-il finalement concevable dans le contexte actuel de généralisation des valeurs liées à l'environnement et peut-on penser que de nouvelles conceptions architecturales, allant au delà de l'urbanisme de dalle développé depuis les années 70 pourront rendre ce type d'organisation de la ville plus acceptable ? C'est probablement au Japon que la réflexion sur ces thèmes est allée le plus loin et où les projets sont les plus nombreux. Aussi nous a-t-il paru intéressant de présenter aux lecteurs de «2001 PLUS» l'étude, réalisée par André GUILLERME pour le Centre de Prospective et de Veille scientifique, sur l'urbanisme souterrain au Japon. Il ne s'agit pas de porter un jugement sur ces projets mais plutôt de lancer un débat qui trouvera de nouveaux développements grâce aux recherches initiées actuellement au Plan Urbain, sur le Forum des Halles et l'espace souterrain du Louvre.

L'URBANISME SOUTERRAIN AU JAPON

par *André Guillerme*

Même si la crise économique frappe de plein fouet l'immobilier au coeur des très grandes villes, le coût du foncier est tel que l'investissement dans les aménagements souterrains apparaît à beaucoup d'opérateurs urbains comme une solution moins idéale que pragmatique puisqu'il permet d'accroître sensiblement les limites du coefficient d'occupation du sol et de libérer la surface toujours plus congestionnée par le trafic grâce à des moyens technologiques - matériaux plus résistants, engins d'exacavation, robots - que le génie civil, innovation oblige, sait maintenant appliquer en grand à un coût de moins en moins élevé.

L'hyper-centre grignote son substratum comme la ville mite sa périphérie. Garages, parcs de stationnements, caves, galeries marchandes, réservoirs, réseaux, voies de transports collectifs ou automobiles, arrachent la terre urbaine sans toujours que leurs maîtres d'oeuvre s'inquiètent des conséquences qui pourraient modifier irréversiblement les fondements de la cité. Des réglementations s'élaborent çà et là pour contrôler ces désordres et planifier l'occupation : Tokyo est une des toutes premières à les appliquer.

L'"hypo-centre" apparaît comme une donnée urbanistique contemporaine qui fait rêver visionnaires et gros promoteurs. Les seconds investissent discrètement dans le "troisième" voire le "quatrième sous-sol" dont la rentabilité financière paraît excellente à long terme ; les premiers, généralement hors d'Europe, échafaudent à l'envers : au Canada, en Australie, aux Etats-Unis, au Japon surtout. La France avait fait figure de pionnière dès la fin des années 30 avec le "Groupe d'Etudes du Centre Urbain Souterrain (GECUS)" : des projets multiples et originaux seul celui du "Trou des Halles" de Paris s'était concrétisé. Mais passé 70 le GECUS s'était effacé devant l'étalement des villes nouvelles plus faciles à planifier. L'urbanisme souterrain à la française n'a point eu de grand héritier et ce n'est qu'au début de la dernière décennie qu'un engouement s'est peu à peu manifesté chez les urbanistes des pays neufs et d'autant plus que le coût de leur foncier s'envolait. Le Japon dont l'espace de vie a, tout au long du siècle, paru trop borné, promeut les dessous de la ville. Les projets foisonnent car la terre est rare et convulsive : corsetée de béton, gainée d'acier, dentelée de réseaux, la cité niponne peut prendre son bain de jouvence. Attendant la reprise économique pour concrétiser les projets, les bureaux d'études des grands groupes du BTP peaufinent la planification des travaux, tandis que les fabricants d'engins de chantier expérimentent leurs robots, regardant sous New-York, Paris, Berlin, les trésors cachés.



137 hectares d'aménagement souterrain à Tokyo, 94 à Nagoya, 78 à Yokohama, 64 à Osaka, 57 à Kawasaki, 45 à Sapporo, 35 à Fukuoka, 28 à Kobé, 25 à Okayama, 21 à Kyoto, ... L'espace enterré dans les grandes villes japonaises est, depuis 1988, en plein développement. Les causes viennent d'abord du renchérissement exponentiel du prix du foncier qui est passé, dans les quartiers les plus recherchés de Tokyo de 0,1 million de francs en 1982 à 1,2 en 1991. Mais les hauts risques sismiques, les substantielles économies d'énergie, la compétition entre les grandes entreprises de travaux publics, la maintenance technologique, sont d'autres facteurs qu'on se propose d'analyser à l'issue de la IVe Conférence Internationale de l'Espace Souterrain tenue à Tokyo en décembre 1991 et qui a regroupé plus de 350 participants japonais. L'enjeu est à la profondeur !

Le troisième plan à long terme pour Tokyo, publié en novembre 1990, promeut l'aménagement systématique des espaces souterrains. On y stockera d'ici 2010 du gaz liquéfié, de l'air comprimé, des déchets, des centrales nucléaires, pour en faire de véritables zones industrielles. On y transportera les transports et on y vivra. Déjà les grands projets portés par les premières entreprises nipponnes de construction ne manquent pas. Mais la capitale n'est point seule, Nagoya prévoit d'ici 20 ans de creuser cinquante kilomètres d'autoroute dans un tunnel de cent mètres de large bordé de parkings et Osaka devrait développer près de six kilomètres de galeries marchandes avant le prochain millénaire. Les universités et les grands bureaux d'études analysent l'anxiété, l'insécurité, les flux piétonniers, la ventilation, les climats artificiels, les communications radio sous terre tandis que les entreprises, alliées aux fabricants d'engins de chantier, proposent de nouvelles techniques automatiques de perforation et de fonçage. Et l'argent ne manque pas : d'ici 2015, 1500 à 2000 milliards de francs doivent être investis rien que dans la mise en valeur du sous-sol tokyote.

A analyser cet enracinement urbain japonais, à regarder les projets de Séoul, Shanghai, Stockholm ou Valkenburg, à jauger les grands travaux souterrains fixés par le Conseil Général d'Ile-de-France pour les prochaines décennies (250 milliards de francs d'investissement), on est prêt à conjecturer que le XXI^e siècle sera le temps des mines urbaines, du *suburb*, comme celui du XX^e siècle aura été celui des gratte-ciel et des banlieues.

Le patrimoine souterrain

Si l'exploitation des mines a commencé au Japon sous l'influence chinoise, si les châteaux féodaux ont enfoui quelque passage secret dans leurs assises, il n'en reste pas moins que là-bas l'habitat ordinaire ne connaît point la cave et que le proche sous-sol n'est ni le lieu des âmes en quête de pardon, ni un univers mythologique. A la différence de l'espace indo-européen, le Japon n'affecte aucune connotation négative au monde souterrain. Celui-ci, conséquence d'une vision plane de la terre héritée des traditions, appartient à son propriétaire jusqu'au centre de la terre.

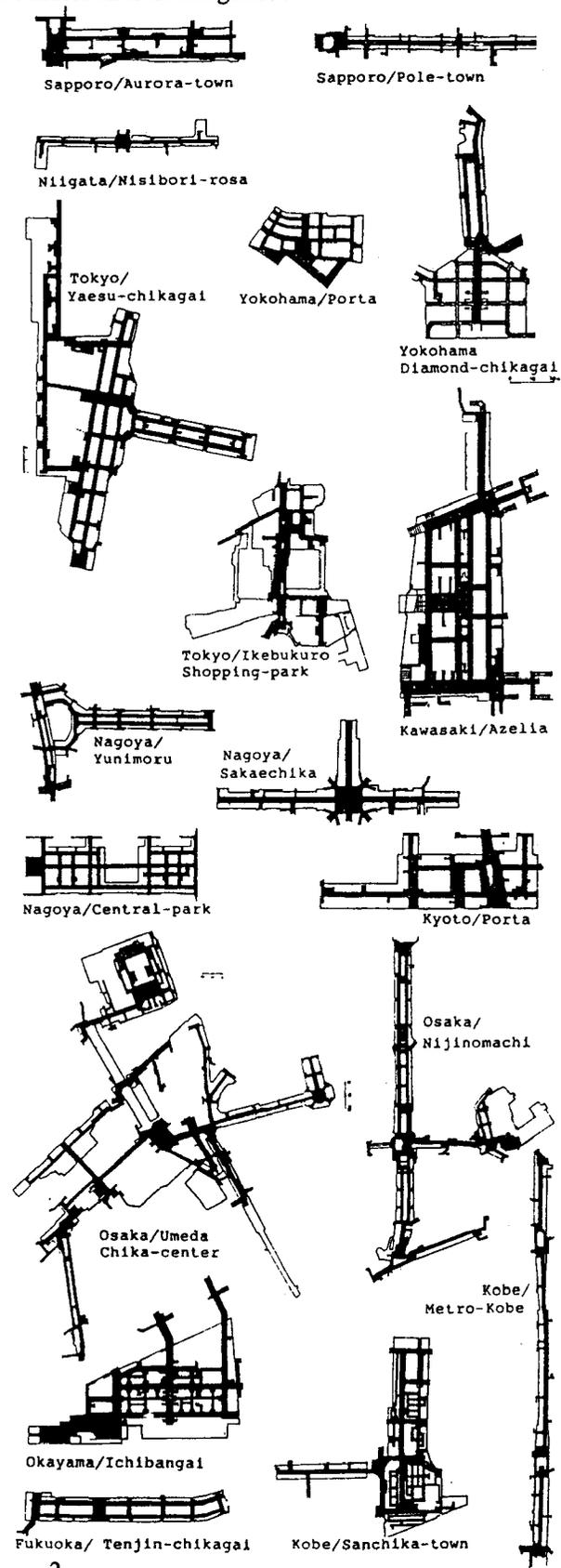
La construction enterrée est un transfert de techniques occidentales. La première ligne de métro souterrain apparaît avec la ligne Ginza à Tokyo en 1927 et des abris anti-aériens naissent pendant la dernière guerre mondiale, témoins d'une solidité d'autant plus grande qu'ils résistaient aussi aux séismes naturels.

Mais c'est le transport de voyageurs qui introduit dans les années 60 le souterrain dans la ville et d'abord à Tokyo : développement des lignes de métro, de voies rapides - la première en 1962 - de parcs de stationnement individuels puis collectifs dès 1965 - des autoroutes - premier périphérique en 1968 - alors que le pays produit annuellement deux millions de véhicules. Si l'aménagement du territoire défie la technologie tunnelière - la loi relative au service des tunnels est votée en 1963 - et dote ainsi les entreprises de génie civil d'outils de plus en plus performants, la croissance urbaine qui éloigne toujours plus le citoyen japonais de son lieu de travail aménage le voisinage des gares d'interconnexion des réseaux métropolitains - enterrés - et ferroviaires - aériens. Propriété des compagnies de chemin de fer, ces lieux d'échange sont toujours plus achalandés, plus occidentalisés avec l'évolution du mode de vie : couloirs, parcs de stationnements, passages sous voie, kiosques, boutiques dans les gares, grands magasins aux abords.

Les principales voies suburbaines japonaises peuvent être classées en trois catégories :

- 1 - les passages destinés à améliorer la circulation automobile et la sécurité des piétons en surface,
- 2 - les gares ferroviaires d'interconnexion,
- 3 - les centres commerciaux attachés à des voies piétonnières.

Nom et localisation	1	2	3	surface m ²
Sapporo / Aurora	X	X		31 132
Sapporo / Pole	X		X	14 139
Niigata / Nisibori-rosa	X			17 359
Tokyo / Ikébukuro Centr comm.		X		15 238
Tokyo / Ikébukuro Nisigushi		X		15 050
Tokyo / Shinsuku Sabnade	X			38 564
Tokyo / Yaesu-chikagai		X		68 468
Yokohama / Diamant		X		38 895
Yokohama / Porta	X			39 133
Nagoya / Yunimoru	X	X		24 198
Nagoya / Sakaechika	X			14 246
Nagoya / Central Park		X	X	55 702
Osaka / Umeda Chika	X	X		27 715
Osaka / Nijinomachi	X		X	36 475
Kyoto / Porta		X		21 038
Kobe / Sanchika		X		17 985
Kobe / Metro			X	10 198
Okayama / Ichibangai		X		24 771
Fukuoka / Tenjin-Chikagai	X	X		35 250
Kawasaki	X	X	X	56 916



Au Japon les 77 grands aménagements souterrains se répartissent pour 9 sur des surfaces supérieures à 30 000 m², 18 entre 10 et 30 000 et 50 inférieures à 10 000 m².

Les 39 plus grands parcs de stationnement - 12 000 au total - occupent 668 500 m² et sont pour moitié gérés par des services publics locaux.

Malgré tout, les aménagements souterrains ont du mal à s'étendre du fait des gros risques qu'ils font courir à ceux qui les fréquentent : incendie dans le sous-sol d'un grand magasin d'Osaka en 1967, explosions sur une ligne métropolitaine de cette cité en 1970 - 79 morts et 420 blessés - et à Tokyo-Shizuoka en 1975. Les potentialités des dessous urbains un instant remises en question par les administrations paniquées, sont à nouveau portées sur la sellette une fois le drame oublié. Ainsi dès 1979, à Osaka, une société d'économie mixte se propose de construire dans le quartier Diamant un centre commercial connecté aux principales gares et aux parkings souterrains à l'aide de passages longs de 1270 m. Le projet, comme beaucoup d'autres en gestation, est encore ajourné à la suite d'une explosion de gaz dans le centre commercial des Arcades qui fait, l'année suivante, 15 morts et 238 blessés. La presse, voix de l'opinion publique, réclame des règlements plus sécuritaires et une meilleure résistance des bâtiments au feu. Dès lors de gros efforts sont réalisés par les constructeurs et les promoteurs pour rendre les immeubles ignifuges. Depuis on ne répertorie que quelques rares sinistres dans des parcs de stationnement.

L'enjeu du XXIe siècle

Le Japon est devenu en quelques années une des toutes premières puissances et son développement semble sans mesure. Les prévisions établies en 1985 pour 2010 lui compte 120 millions d'habitants dont 95% dans les villes. Annuellement il consommera alors 50 milliards de m³ d'eau et 200 millions de kW électriques, soit l'équivalent de 850 millions de barils de pétrole, ressource énergétique absente du sol national qu'il faudra économiser coûte que coûte.

Mais d'autres chiffres alarment : le temps perdu dans les embouteillages triple entre 1977 et 1988 et le temps moyen de transport domicile-travail augmente de moitié. Le coût du foncier atteint des sommets que les innovations technologiques dans la construction n'arrivent plus à réduire. On bâtit sous sol pour tous les projets de rénovation dans les villes de plus de 200 000 habitants : pour gagner un peu de place, on y dispose les appareillages (chauffage, ascenseur, etc.) et le stationnement des véhicules. A Shinjuku, le quartier le plus dense et le plus cher de Tokyo, la moitié des bâtiments possède un sous-sol mais quelques uns six.

L'espace paraît de plus en plus rare car il n'est plus question d'entamer le patrimoine naturel, sauvage, ni de grignoter les terres agricoles, vitales, ni de recourir comme dans les années 30 à la force pour conquérir de nouveaux territoires. La nouvelle colonisation nipponne ne doit pas se réaliser en surface mais en épaisseur, non plus aux franges urbaines, mais au coeur de ses villes ou dans la mer.

Dès 1989, le ministère japonais de la Construction demande aux municipalités concernées de réfléchir à la mise au point d'une *méthode de planification idéale pour le sous-sol*, tandis qu'il lance une enquête mondiale auprès des villes de plus de 300 000 habitants et des grandes villes en climat froid ou neigeux pour connaître leur politique en la matière alors que l'Agence tokyote de lutte contre les incendies lui soumet un "rapport relatif à la prévention des risques en cas de séisme" montrant que lors des tremblements de terre les routes ou les réseaux aériens de communication rompus et les incendies conséquents, la cité tout entière est plongée dans la plus grande confusion tandis que les réseaux enterrés, immense filet dans un sol devenu subitement visqueux, maintiennent leurs liens.

Les dessous de la ville éveillent le zèle des aménageurs-utopistes : ils permettent le redéploiement des fonctions urbaines, une meilleure protection des citoyens contre les risques majeurs et, reléguant sous terre les communications les plus polluantes, une qualité de vie améliorée. Tous les ministères sont concernés : Construction (pilote), Commerce international et Industrie (transfert de technologies), Transports, Poste et Télécommunications, Agriculture, Forêts et Pêcheries, Santé et Bien-être (eau potable, environnement), et l'Agence Nationale Foncière auxquels se joignent les grands propriétaires fonciers. Car le faible morcellement de la propriété foncière et l'occupation des bâtiments de surface par des banques ou des bureaux favorise le développement d'espaces souterrains à haute rentabilité, à l'opposé les aires de petites propriétés où le petit commerce, florissant, redoute la concurrence des centres commerciaux.

Comme cela se présente fréquemment au Japon pour accompagner un projet, une série de mots-clé mobilisateurs est lancée en été 89 : "Cité internationale informée 24 H/24", "Vision prospective", " Super réseau de circulation", "Ressource urbaine", "Progrès de l'industrie douce", "Flexibilité du temps de travail", "Travail à domicile".

Tokyo

Tokyo avec ses vingt-trois arrondissements et les trois préfectures adjacentes - Chiba, Kanagawa et Saitama - sont les plus concernées par l'aménagement souterrain : les 200 kilomètres d'autoroutes qui transportent quotidiennement 1 100 000 véhicules en 1990 sont saturés en moyenne cinq heures par jour.

La capitale, première place financière et économique du monde, dont le coût foncier avoisine les 1 000 milliards F, est proche de l'asphyxie : le transport routier de marchandises a crû à un tel niveau que les camions comptent pour 35% des voyages quotidiens et 68% des charges transportées de la préfecture de Tokyo. En outre les moteurs diesels produisent des oxydes d'azote toxiques dont le volume atteint près des deux tiers des émanations totales de la capitale : on compte une moyenne de 2,7 kg de NOx/1000 véhic/km soit 4,5t/ha/an. La demande en stationnement des automobilistes est quatre fois plus élevée que l'offre, soit 770 places pour 10 000 véhicules. Le flux quotidien de piétons dépasse 60 000 - soit 100/mn - dans certains passages souterrains et sur les trottoirs de Shinjuku. 95% des 130 km² de la ville sont imperméabilisés avec des pluies océaniques de type tropical : les inondations sont de plus en plus fréquentes. Scénario aux allures catastrophiques.

Pour suppléer le réseau d'évacuation d'eau pluviale, la préfecture de Tokyo a montré l'exemple en adoptant en 1988, sur les conseils du "Comité pour l'étude des politiques du contrôle des crues et celui des rivières souterraines", un projet visant à créer dans la banlieue ouest deux rivières souterraines de 12,5m de diamètre creusées à l'aide de petits tunneliers à 40m de profondeur. Celles-ci sont dotées de réservoirs et dimensionnées pour écrêter les crues dues à des précipitations de 75mm/h - la fréquence est d'une fois tous les trois ans -, absorber les surverses de dix rivières urbaines, affluents de la Sumida et de la Shingashi et les rejeter dans la baie. La première, longue de 30km coule sous l'autoroute circulaire n°7 et peut capter 19% du débit de pointe ; la seconde, de 9km, sous l'autoroute n°8, en capte 9. Les travaux, largement entamés, devraient être achevés avant 2001.

Pour freiner la saturation de la capitale, les projets ne manquent pas : exhaussement d'immeubles consommant toujours plus de matériaux et de solides fondations ; centres en front de mer engendrant de nouveaux trafics réglés par des autoroutes enterrées à péage ; lignes ferroviaires souterraines comme celle de Shinsuku estimée à 2,2 MdF/km, deux fois celui d'une construction suspendue.

Alice - du nom d'Alice au pays des merveilles - est un projet urbain souterrain de la firme Taisei, une des cinq premières entreprises japonaises de construction, composé de quatre espaces :

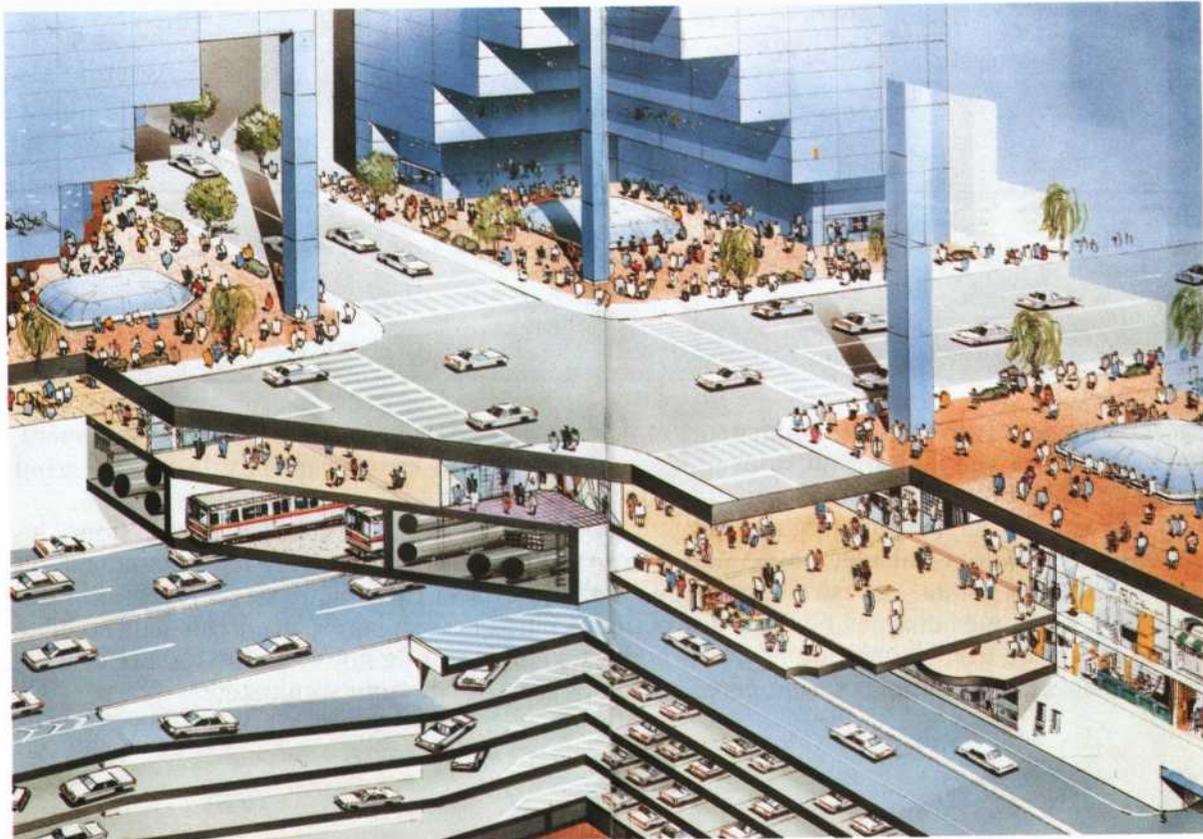
1 - Un centre commercial situé près de la surface, haut sous plafond (80m), doté de passerelles à plusieurs étages (6 à 8) et d'atriums de manière à créer un espace *superbe*. On n'y trouvera ni route, ni véhicule, seulement des promenades verdoyantes et des espaces de relaxation dotés de cours d'eau. Le soleil y pénétrera à travers des puits de lumière et de grandes baies vitrées disposées à la surface.

2 - Des places de rencontre donnant sur les stations de métro et les descenseurs desservant les parcs de stationnement, repères indispensables pour la sécurité.

3 - Des stations de métro placées à plus de 50m de profondeur dans des cylindres de 100m de diamètre et 100m de profondeur.

4 - Des infrastructures disposées en dessous, munies de parcs de stationnement de 8 000 places de capacité.

Le projet devrait être réalisé dans les années 2010-30 pour un coût de 22MdF (1990) et 10 millions de m³ d'excavation.

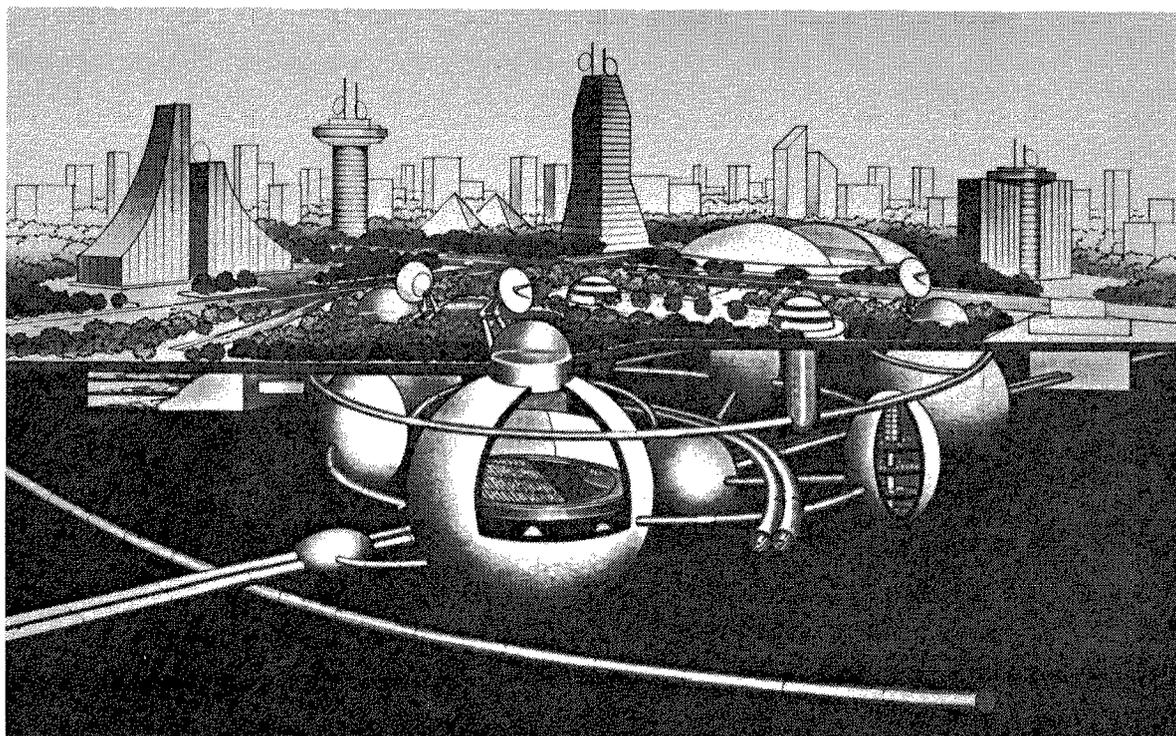


GIA Le projet GIA (Geo-Integrated Amenities), élaboré par des ingénieurs de la firme Hazama, est un système multifonctionnel d'exploitation souterraine et consiste en trois types de tunnel reliant des cavernes sphéroïdales de grandes dimensions. Ces différents GIA forment un réseau connecté aux principaux hôpitaux et peuvent être utilisés pour le transport des déblais, minimisant ainsi le coût.

	profondeur	diamètre en m	longueur en km	usage
Petit GIA	10	5	2-3	piétonnier
Moyen GIA	30-50	10	2-3	trafic régional
Grand GIA	50	10	10	méto, autoroute

L'arrondissement d'Aoyama, coeur toujours embouteillé du Tokyo populaire et branché semble, selon les promoteurs, l'endroit idéal pour réduire au maximum les risques conséquents aux séismes et accueillir leurs GIA. On y trouvera trois fonctions-clé :

- sources d'information (trois sphéroïdes de 50m de diamètre et 100m de haut totalisant chacun 4 000m² de plancher) dotées de bibliothèques de haute technologie.
- échanges culturels (sphéroïdes de 90m de diamètre et 20 000m² de plancher) pouvant accueillir 4 000 personnes.
- activités récréatives (deux sphéroïdes de 90m de diamètre) : piscine, pistes de ski, etc.

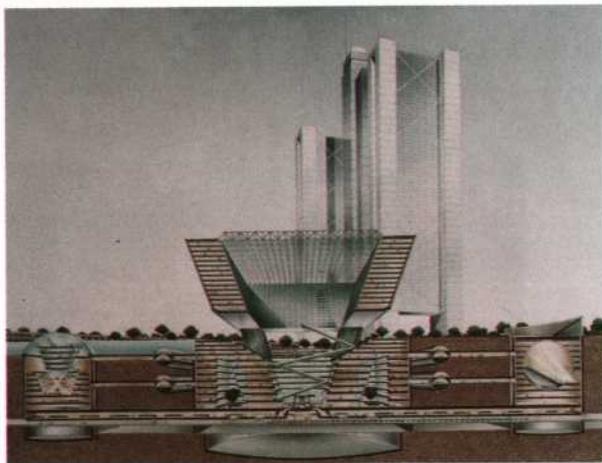
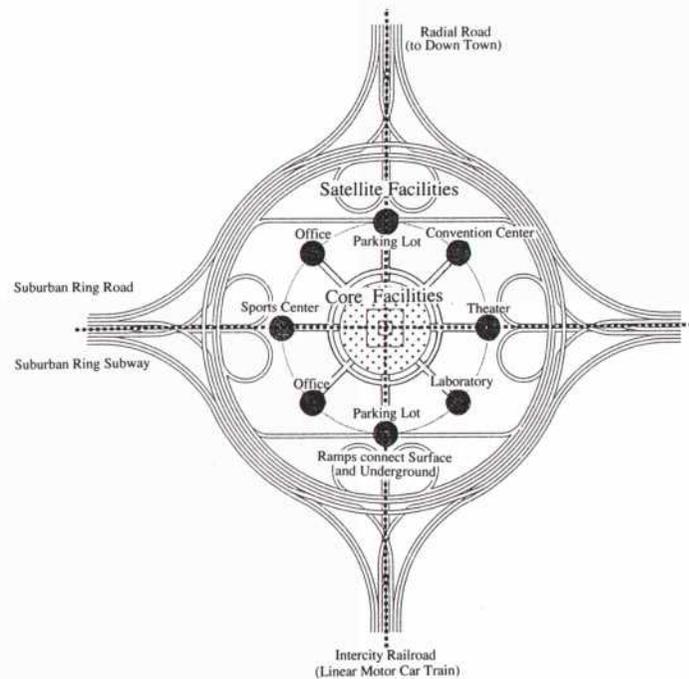


La sécurité sera extrême : des ordinateurs et des témoins contrôleront l'air, le bruit, la lumière, le chauffage, la ventilation ; on stockera de l'oxygène liquide et des capsules de survie seront mises en place pour permettre le sauvetage de personnes éventuellement bloquées.

Opérant sous la nappe phréatique et par conséquent soumises à de très fortes pressions, les constructions seront calculées avec une très grande précision - pour éviter notamment les fuites d'eau aux joints - et faire appel à la rhéologie et à la dynamique des structures. Pour amortir les énormes charges pendant des périodes plus que séculaires, maintenir leur stabilité même en cas de tremblement de terre, les coques emploieront de nouveaux matériaux et leurs mouvements imperceptibles seront gérés, en temps réel, par de super-ordinateurs.

ODYSSEIA 21 - Organic and DYnamic Superterranean System with Efficient Infrastructure for Advanced 21th Century - est le projet que la firme Kumagai Gumi, une des dix premières du secteur BTP japonais, voudrait réaliser, là où les terrains ont encore de belles plus-values, entre la ligne de chemin de fer de ceinture et le périphérique autoroutier de Tokyo. Il se réfère explicitement au Corbusier.

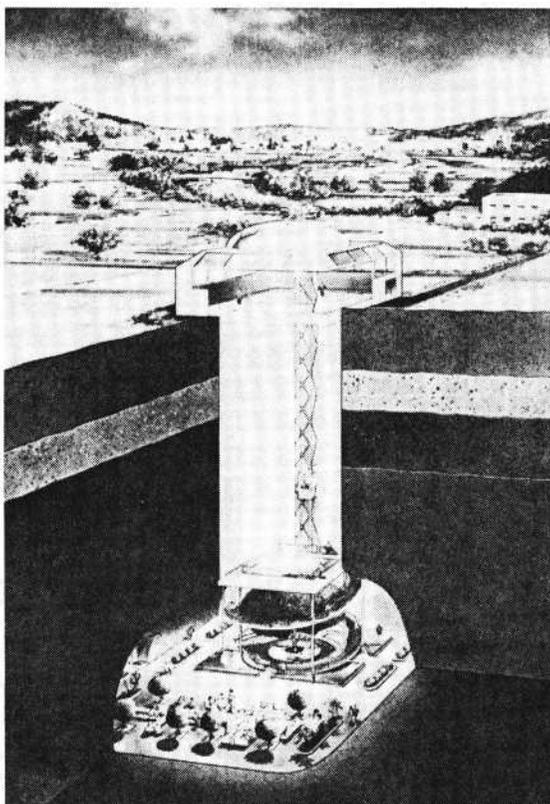
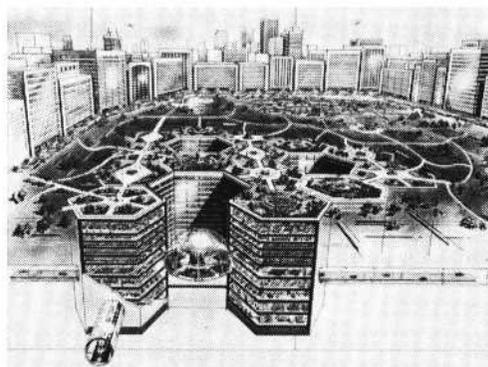
Le coeur des satellites reliés entre eux par des voies souterraines est un énorme trou de 200m de diamètre et 110 de profondeur au bord duquel s'élève un immense entonnoir haut de 60m formé de bureaux empilés sur vingt étages. Au-dessus des parcs de stationnements, les lignes ferroviaires et les autoroutes circulent entre 70 et 50m, desservant gares et garages, magasins, services de sécurité et centres commerciaux éclairés naturellement par le puits de lumière et les capteurs optiques.



Les satellites, au nombre de sept ou huit répartis dans un rayon de 150 à 200m, accueillent diverses activités : bureaux, instituts de recherche, centres sportifs, centres culturels, entrepôts.

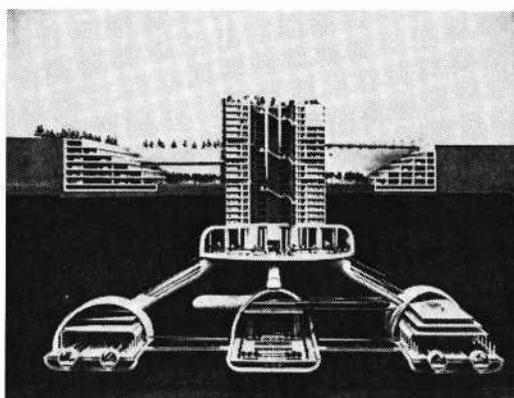
La sécurité contre l'incendie tient aux portes coupe-feu et au système d'air sous pression et de ventilation qui jette les fumées toxiques dans l'entonnoir.

Hy Mac (Honeycomb Matrix i.e. Cité en nids d'abeille) proposé par le groupe Shiraishi : l'agglomération souterraine se compose d'unités de six hexagones de 100m de long, 50 de large et 70 de profondeur groupées autour d'un hexagone central de 100m de diamètre qui forme l'atrium par où se diffuse la lumière. La ville est fondée selon la technique du caisson.



Géotropolis, projet de la compagnie Tokyu Construction - une des premières entreprises japonaise - pour la ville de Tokyo, comprend trois grands tunnels horizontaux, de section en forme de fer à cheval, reliés à d'immenses cylindres verticaux semi-enterrés et habités. Les deux tunnels extrêmes, larges de 50m et haut de 30, reliés à la périphérie urbaine servent à la circulation rapide. Le tunnel central - une caverne longue de 200m située à 70m de profondeur - accueillera des activités culturelles comprenant des salles de sport et des théâtres, au-dessus duquel les promoteurs ont placé un cylindre-relai de 70m de diamètre, plus proche de la surface, fondement d'un immeuble de 20 étages (70m de hauteur dont 50 hors sol), doté d'équipements commerciaux et de bureaux.

Pour analyser le comportement des terres ou augmenter leur ténacité, trouver de nouvelles solutions techniques, voire mener des expériences à l'échelle humaine, la compagnie a commencé à forer un trou de 60m² de section poussé à déjà 60m de profondeur.



En novembre 1990, la préfecture de Tokyo, inquiète, lance des directives pour préparer son IIIe plan à long terme. Ses objectifs : réorganiser l'espace urbain et promouvoir une structure urbaine régionale multipolaire en surface liées à la conduite de grands canaux enterrés et à l'implantation de réservoirs de régulation, au développement de voies rapides - anneau central de Shinzuku de 20 km - armatures principales de la planification et à la densification de lignes de transport en commun souterraines. Sa *méthode idéale*, présentée en 1991, est fondée sur l'usage des plans.

Le développement de plans permet la conservation de l'environnement naturel en surface et sous sol. L'usage des espaces souterrains pour les activités est limité et il est nécessaire d'en accroître la sécurité pour l'implantation des futurs équipements. Le sous-sol peut servir à limiter les risques d'incendies, d'inondations et autres désastres.

... Il est créé à la préfecture de Tokyo un Comité pour la planification des usages souterrains.

... Pour accroître l'attractivité des espaces souterrains et préparer la qualité de vie des futurs citoyens il sera créé des places souterraines .

... En implantant de nouvelles voies piétonnières, l'accent sera mis sur la sécurité, y compris dans la connexion de ces voies avec les transports en commun souterrains et les entrées de bâtiment.

... Lorsque le COS commercial dépasse 6, il sera nécessaire d'aménager un espace souterrain.

... les aires d'usage de l'espace souterrain, la direction des réseaux de trafic, de distribution d'eau et d'assainissement, les principaux équipements souterrains seront indiqués sur des plans au 1/2 500e révisés tous les cinq ans. On y précisera la nature des espaces à protéger, les espaces en cours d'urbanisation avec leur échancier constructif, les espaces réservés pour les équipements avec leur emplacement, les espaces réservés pour des équipements non spécifiés. On y joindra une coupe du sol.

Recherche et Développement

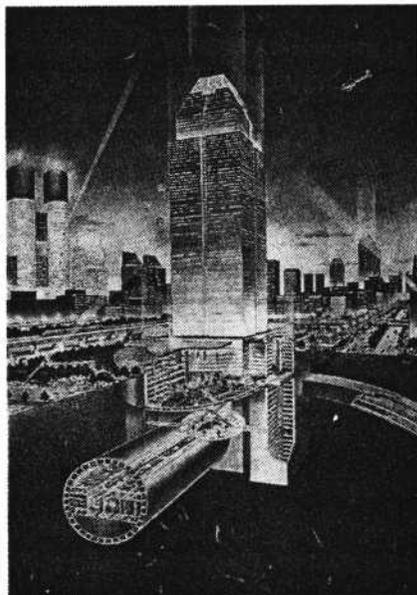
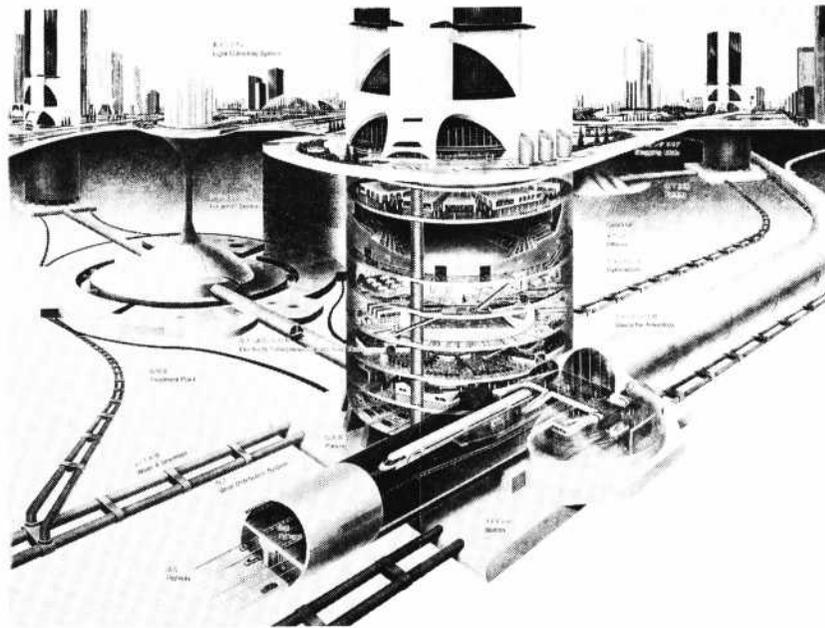
La recherche appliquée concerne aussi bien la "tunnellerie" que la robotique, secteurs dans lesquels le Japon s'est donné les moyens de passer maître en moins de 20 ans pour réléguer au musée nos fameux jumbos du tunnel sous le Mont Blanc et doter celui sous la Manche.

Parmi ces nouveaux procédés, le tunnelier à double taraudière frontale mérite l'attention. Pour des fronts de taille supérieurs à 5m de diamètre, il permet d'économiser l'énergie de la taille, d'augmenter très sensiblement la section utile des tunnels et offre une meilleure sécurité en cas de désastre. En effet si la section cylindrique est mieux adaptée pour la répartition des charges et offre le meilleur rapport surface/périmètre, sa rentabilité demeure très moyenne quant à l'utilisation de l'espace.

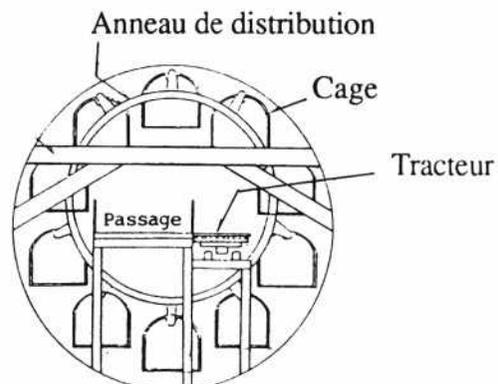
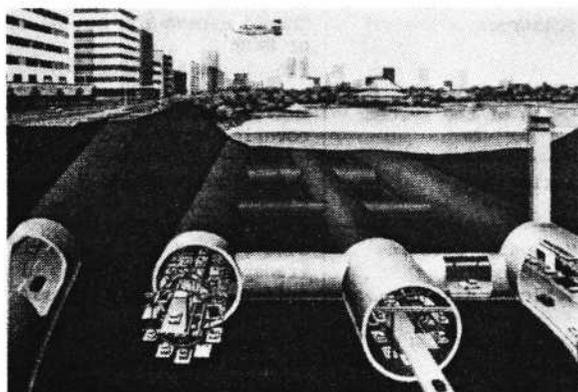
Le bouclier-robot à trois faces mis au point par l'Institut de Recherche Technique sur les chemins de fer et la Kumagai Kumi C° pour abaisser le coût du forage des stations de connexion souterraines, notamment celui de la pose automatique des voussoirs, devrait lui aussi être très performant.

Mais la pédosphère urbaine est surtout au coeur des préoccupations des constructeurs d'engins de chantier. Ainsi pour les sols proches de la surface, souvent peu consolidés et donc susceptibles de se fracturer ou de transmettre les dépressions lors des forages, on imagine de nouveaux procédés d'incision du sol et d'application immédiate de plaques de béton (JDC) ou

Neo-Edo Projet de l'entreprise Nishimatsu se compose d'un anneau profond de 50m, de 100m de diamètre extérieur et de 20 pour l'atrium intérieur qui sert tout autant de puits de lumière, d'évacuation de l'air vicié ou des fumées d'incendie que de refuge pour les promeneurs en cas de risque majeur. Des coupe-feu gonflables sont prévus de distance en distance et un tunnel pressurisé d'évacuation s'enroule en hélice à la périphérie de l'anneau.



TUBE - Toda Underground Beautiful Environment - projet de la firme Toda, consiste en un tube horizontal enterré, de 300m² de section.



Parc de stationnement dit "révolver".

de forage pneumatique sans explosif (Mazda). Réalisé spécifiquement pour la ville, le prototype de la Compagnie Nippon Mining est une nouvelle perforatrice de 25m² de taille déjà en action dans des sols mal consolidés. Elle prévient les effondrements par la pose d'une arche de décharge en amont du front de taille et, de fait, dispose d'avantages économiques et d'une meilleure flexibilité vis-à-vis de ses concurrents.

Robotique

Pour réduire les accidents du travail et parce que le Japon est un des pays où l'on en comptabilise le moins, pour gagner en précision - et le pays tient à cette longue tradition qui a fait sa réputation -, pour diminuer les temps de manipulation et par conséquent les coûts, les automates occupent de plus en plus l'épaisseur du champ urbain : décisions de contrôle par système expert pour le démarrage, l'arrêt, le commencement et la fin des travaux souterrains, automates de contrôle de la pression des forêts, de la vitesse de coupe, des systèmes d'injection, de la plasticité relative du mortier, de la direction du tunnel, dans des conditions physiques très contraignantes (vibrations, poussière, humidité), contrôle à distance à l'aide de caméras à rayons infra-rouges, les travaux et le convoyage des déblais étant réalisés à l'aide d'automates. Ces recherches, appliquées en vraie grandeur par la Compagnie Okumura, promettent.

La mise en place de conduites souterraines de faible diamètre, notamment pour la pose de câbles électriques s'avère de plus en plus coûteuse en milieu très urbanisé - encombrement de la chaussée, nuisances, etc. - ou lorsqu'il faut descendre la tranchée au-delà de 3m : on doit alors établir des galeries dans un environnement urbain parfois très perturbé et multiplier les courbes pour éviter les fondations existantes, ce qui ne va sans surcoût, sans danger pour les ouvriers et sans contraintes. D'où les recherches menées sous l'égide de la TEPCO - Tokyo Electric Power Co. - pour mettre au point quatre types de robots :

- automate creusant une galerie dans un rayon de courbure minimum de 10m et pour une pente maximale de 30% (le système classique ne dépasse pas un rayon de courbure de 40m et une pente de 3%). Depuis 1985 un prototype marche sans problème.
- automate capable de transporter, positionner et lier entre eux les voussoirs, mis au point en 1988.
- automate réalisant des galeries courbes pour de petits diamètres intérieurs - moins de 2m - et des longueurs de 300m, élaboré en 1988. Il permet de réaliser un gain de temps de 20% et une économie de l'ordre de 10%.
- automate fabriquant in situ des tubes en béton à usage multiple pour la pose de câble en galerie technique de faible diamètre, mis au point en 1990.

La recherche incitative de l'Etat et contractuelle des entreprises ne se cantonne pas à ces deux secteurs de pointe. Elle s'inquiète évidemment de la stabilité des grands ouvrages surtout dans des conditions de liquéfaction des sols, autrement dit de la séismologie des interfaces ; elle veut développer la topographie souterraine - la tri-dimensionnalité - et se donner les moyens de communiquer dans ce monde-là.

A vrai dire, on sait peu de chose de la propagation des ondes radio dans la terre relativement aux propriétés du sol et à l'eau souterraine et dans les tunnels. Elle est fortement affectée par les parois mais aussi par la présence de piétons. Le Japon, un des tout premiers utilisateurs de nouvelles communications téléphoniques les voit se multiplier à une allure exponentielle : en mars 1991, on trouvait déjà 10 millions de téléphones sans fil, 5 millions de radio-téléphones, 1 million de téléphones cellulaires et 500 000 abonnés au réseaux satellitaires. Tous ces moyens pourront bientôt être utilisés dans le sous-sol : les ondes seront transmises par fibres optiques.

Conservation de l'énergie

Pour réduire son énorme déficit énergétique et par conséquent pour réaliser des gains substantiels sur les produits finis, le Japon s'est engagé à développer des technologies de stockage souterrain.

Ainsi le gaz naturel liquéfié, importé d'Alaska et du Moyen Orient, introduit dans l'île en 1969, est stocké dans des réservoirs à -162°C. Le pays consomme 33 millions de tonnes en 1989, enfouis pour économiser une part non négligeable de l'énergie de stockage et pour limiter les risques.

Déjà en 1977, au lendemain de la crise pétrolière, pour des questions de sécurité et d'abaissement de coût de production, la Compagnie de Gaz de Tokyo s'était fixé pour objectif de recherche, "le stockage maximum dans des volumes réduits pour une sécurité maximale". Elle se proposait de descendre les fondations de réservoir de 55 à 100m de profondeur, d'élaborer de nouvelles méthodes d'excavation à ciel ouvert permettant d'extraire jusqu'à 200m³ de déblais par heure et de développer des systèmes automatiques de mise en oeuvre des murs de soutènements permettant d'économiser le tiers de la main d'oeuvre. En 1993, son objectif est atteint.

Au Japon, la consommation électrique diurne est double de la nocturne, mais la capacité de stockage des barrages hydro-électriques reste insuffisante. En revanche la technique du stockage énergétique par air comprimé et enfermé sous terre permet d'écrêter les excès : l'air comprimé la nuit sous une pression de 50 à 60 atmosphères grâce aux surplus d'énergie est brûlé le jour avec du pétrole ou du gaz naturel pour faire tourner des turbines à gaz, disposées en surface, génératrices d'électricité. L'économie de carburant est sensible et la production de gaz carbonique réduite. Reste le problème des déperditions d'air dans les cavités de stockage que la recherche tente de cerner en étudiant plus à fond la loi de Darcy sur la perméabilité des sols et la micro-fissuration des roches, en évaluant la densité des discontinuités et qui devrait confirmer tout à la fois le rôle conservatoire des roches dures et le rôle tampon de l'eau phréatique pour la conservation de l'air comprimé.

Mais le sous-sol n'est pas un simple conservatoire d'énergie, il en est aussi un consommateur a priori modéré : la température reste stable tout au long de l'année. Dans les centres commerciaux un réchauffement apparaît en période d'inactivité du fait de l'arrêt de la ventilation, mais la température moyenne varie de 24 à 28°C en été (28 à 34 dehors) et de 12 à 14 en hiver (5 à 12 à l'extérieur).

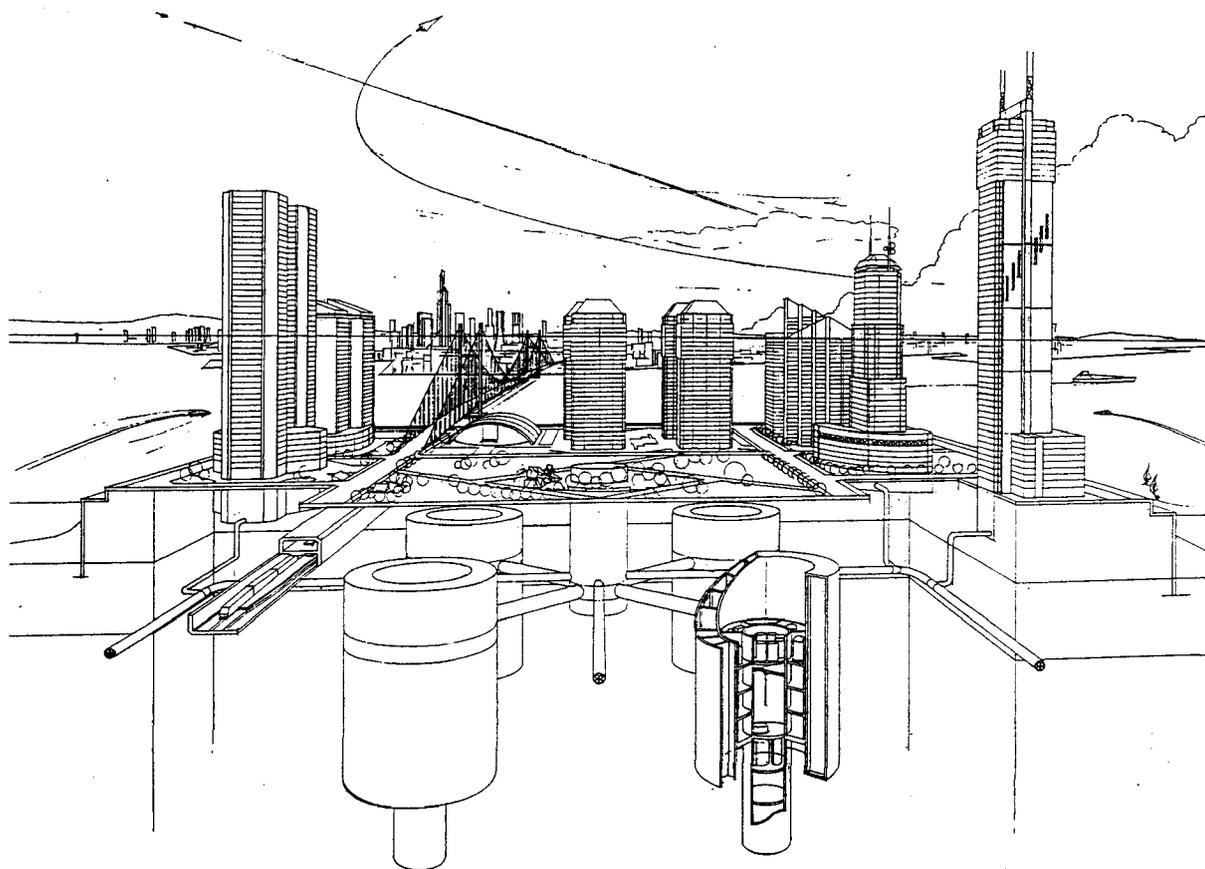
A vrai dire une enquête effectuée dans 32 centres commerciaux souterrains montre que le maximum d'énergie est consommé en août (climatisation) et février (chauffage) ; l'éclairage est le plus gros consommateur d'énergie (44%). La climatisation occupe 11,5%, soit 2,5 fois plus que dans les magasins. Le chauffage prend 5%, deux fois plus que dans les magasins en surface et 4,5 fois plus que dans les bureaux. En général, le sous-sol aménagé consomme 2 fois plus d'énergie qu'un magasin de même taille et 5 fois plus qu'un bâtiment de bureaux, à cause de la ventilation et de l'allongement de la durée des activités : a posteriori, l'aménagement en souterrain consomme plus d'énergie qu'en surface.

Sécurité

Avec des flux quotidiens pouvant atteindre 2,5 millions de piétons - c'est le cas du quartier Diamant à Osaka ou celui de Shinsuku à Tokyo dont les couloirs ont des débits de 70 à 80 piétons par seconde - les centres commerciaux doivent être sous haute surveillance et participer, comme espace hyper-policé, à l'application de l'idéologie benthamienne version nipponne.

L'implantation d'une centrale nucléaire moyenne à grande profondeur permet de limiter les dégâts en cas d'explosion. Son coût d'installation et de fonctionnement peut être réduit si on récupère l'énergie dissipée. Le projet ambitieux de la Mitsubishi Atomic Power Industries vise à fournir les deux tiers de la puissance consommée dans ces îles-satellites artificielles créées près des côtes. Chacune accueillera 100 000 habitants et disposera d'une quasi-autonomie énergétique grâce à une unité placée au centre de gravité de la ville nouvelle - pour réduire au maximum les pertes énergétiques - à 50-60m de profondeur ; au-dessus de cette centrale atomique on aménagera un grand parc verdoyant - technique semblable à nos grands jardins plantés à l'époque haussmannienne sur des décharges publiques.

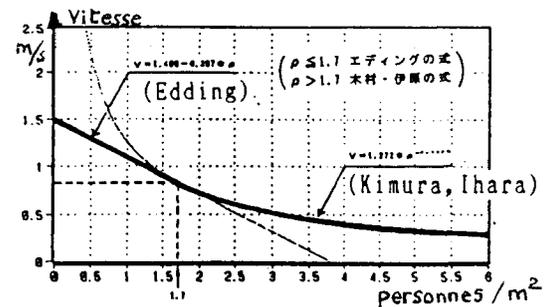
La centrale à uranium faiblement enrichi et thorium - la moins risquée - utilisera un convertisseur thermoélectrique à électrolyte en céramique - qui ionise le sodium et donne un rendement élevé. La nuit, consommant les surplus de production, des électrolytes polymères produiront de l'hydrogène et de l'oxygène à partir de l'eau de mer. L'hydrogène gazeux sera capté par des hydrides métalliques et stocké ainsi dans des réservoirs et utilisé ensuite comme carburant sans pollution. Une usine de désalement de l'eau de mer consommera la chaleur dégagée par les convertisseurs et produira environ 6 000m³/h d'eau potable, soit 50 000 équivalent-habitant.



Sachant que pour 809 sinistres souterrains de grande envergure enregistrés depuis 1970 dans le monde, 270 sont dus au feu (le tiers), 138 à la toxicité de l'air, aux fuites de gaz ou à la raréfaction d'oxygène, 115 à des désordres de construction (14,2%), 71 à des explosions, ... 7 à des séismes, tuant plus d'un millier de personnes, le gouvernement japonais a chargé son ministère de la Construction d'effectuer des recherches de fond sur le comportement des piétons en milieu clos, notamment dans les moments de paniques.

Ainsi une enquête effectuée dans les centres souterrains tokyotes montre que la distance moyenne parcourue par les piétons ne va jamais au-delà des deux tiers de la distance maximale prévue par les normes de sécurité pour atteindre les issues de secours. Autrement dit, l'aire attractive des sorties de secours ne dépasse jamais la moitié de la surface souterraine : il faut donc doubler les issues.

Une autre enquête menée un jour de semaine entre 11h et 15h dans la gare souterraine d'Hibiya sur la ligne Yurakucho à Tokyo montre qu'à défaut de lieux d'attraction, les piétons relient au plus direct les espaces fonctionnels - sorties de métro, entrées de gare, d'escalier - : 95% des gens parcourent ces routes moyennes selon une vitesse comprise entre 0,6 et 1,8m/s.



Vitesse de marche des piétons - calcul moyen effectué à Tokyo, à partir des exercices en état d'alerte.

Mais lorsque les parcours ont beaucoup d'intersections ou de dérivations, le jugement individuel est perturbé, la vitesse est ralentie, la concentration augmente pouvant entraîner un début de panique collective et d'asphyxie dans la mesure où la concentration en gaz carbonique est proportionnelle au volume piétonnier. Cependant il faut distinguer le flâneur du marcheur : il ne choisit pas nécessairement le chemin le plus court et son itinéraire varie selon les caractéristiques de la voirie, largeur, revêtement, climat, ambiance.

D'autres enquêtes montrent que l'absence de repère temporel rend très anxieux et plus encore les femmes que les hommes.

Si le souterrain est plus mal perçu par ceux qui n'y exercent pas leur activité que par ceux qui y travaillent réellement (cf : tableau ci-dessous), il donne à tous le sentiment d'être isolé, enterré. Et les employés des centres commerciaux souterrains nippons ont une appréhension assez négative de leur environnement : on ne sait quel temps il fait dehors, l'air est malsain, on est oppressé, écrasé, c'est bruyant. La couleur est jugée plutôt négativement, avec le sentiment assez général de monotonie ; les plafonds paraissent trop bas surtout dans les bureaux. Bref le vécu quotidien est sensiblement plus angoissant, notamment pour l'orientation, l'évaluation du temps et le sentiment d'oppression, tandis qu'il paraît plus positif pour la protection sismique et la sécurité.

Avis des employés travaillant	en surface sur le travail en sous-sol	en sous-sol
Lumière	1,91	2,69
Sécurité	2,92	2,76
Qualité de l'air, Bruit	3,17	1,94
Facteurs psychologiques	1,75	3,15

Notation : (0) pose problème, (5) sans problème

Ces impressions ont conduit à la création, en 1991, d'un Comité pour la recherche et l'évaluation de l'environnement visuel dans les espaces clos, auprès du ministre de la Construction. Car l'enjeu est de taille : à Tokyo, on trouve en moyenne un magasin pour 30m² de surface souterraine hors oeuvre, dont un tiers de restaurants, part qui tend à se réduire sensiblement aujourd'hui (1/5) au profit des plats préparés et des vêtements.

Les premières recherches publiées par ce comité sont intéressantes, montrant par exemple que les atriums, les fenêtres, même aveugles, occultent le sentiment d'isolement ; que les plantes, même artificielles, réduisent l'état d'anxiété ; qu'il est nécessaire de ne pas avoir de rupture brutale entre la surface et le sous-sol : des rampes plutôt que des escaliers, des tapis roulants plutôt que des ascenseurs. Il faut multiplier les points d'eau et les issues de secours, fournir le maximum d'informations et prévoir des espaces de sécurité.

Conclusion

Le sous-sol possède à vrai dire peu d'avantages pour la vie humaine et coûte à l'évidence relativement cher à aménager ; il permet toutefois d'absorber les surplus et d'écrêter les débordements des réseaux viaires.

Au Japon cependant le sous-sol a un prix comparable à celui du mètre carré bâti en surface. L'enjeu urbain est terriblement différent puisqu'il satisfait le rêve centenaire de la colonisation. On peut dès lors parler véritablement d'urbanisme souterrain car toutes les utopies s'y côtoient : celles des îles dans les îles, celles des phalanstères culturels, celles des planètes solidaires, celles des satellites. Et il ne s'agit point d'utopistes publicistes ou rêveurs comme ceux que Françoise Choay a si bien étudiés, mais des vingt plus grosses entreprises de construction japonaises : l'enjeu est surtout économique.

On va pouvoir bâtir à 50m sous la surface, soit 15 étages supplémentaires, avec des technologies certes coûteuses mais qui laisseront au pays sa première place mondiale pour les tunneliers et la robotique mécanique et dont l'investissement sera largement couvert par le remploi de ces précieux déblais.

Dans les grandes villes japonaises, la terre vaut plus que l'or... La Fontaine nous l'avait déjà conté.

Classification des espaces souterrains d'après leur origine et utilité

Utilisation	Origine	
	Naturelle	Artificielle
Minière	--	Mines souterraines (galeries-tunnels-puits) Carrières souterraines
Religieuse	Cavernes Grottes	Eglises - Temples Catacombes Voûtes Cryptes et tombeaux
Militaire	Cavernes Grottes (préhistoire)	Abris anti-aériens Abris anti-atomiques Abris pour sous-marins, hydravions, avions, navires Silos à missiles bases et centres stratégiques Prisons
Stockage Abri de valeurs	--	Stockage rejets radioactifs Voûtes bancaires Caves à vins Entrepôts de fourrures Entrepôts de musées
Industrielle	--	Entreposage gazeux Entreposage liquide Entreposage solide Entrepôts frigorifiques Usines alimentaires Usines de traitement eaux usées Usines d'outils de précision Imprimeries Laboratoires Centrales hydro-électriques
Commerciale	--	Centres commerciaux et boutiques Stationnements Stations-service Garages
Utilitaire	--	Tunnels pour piétons Tunnels pour trains Tunnels pour automobiles Tunnels et stations de métro Canalisation eaux/égouts/fils électriques Puits et aqueducs Réseaux pneumatiques Alimentation en gaz Chauffage urbain (vapeur)
Agricole	--	Plantations de champignons Pépinières
Résidentielle	Cavernes/grottes	Habitats troglodytiques
Récréative	Visites de grottes (spéléologie)	Visites de mines Salles de concert Théâtres/cinémas Terrains de sport Piscines

Source : Daniel J. BOIVIN, Département de géographie à l'Université de Laval, article intitulé "Géographie, aménagement et espace souterrain", in *L'Espace géographique* n°2, 1982, p. 150.