LES DECHETS DU 21EME SIECLE, UN PROBLEME DE METABOLISME URBAIN

MAURO GANDOLLA ET MARIANNE GFELLER

1 INTRODUCTION

La survie de l'homme à moyen et long terme dépend fortement de sa capacité à s'intégrer de manière équilibrée dans son environnement, en arrêtant de le considérer comme un élément extérieur et de piller ses ressources. Actuellement, beaucoup de signaux d'alarme soulèvent la nécessité de modifier l'attitude de l'être humain. Bien qu'il existe de nombreux discours et déclarations allant dans ce sens, la réalité est encore prédominée par des intérêts nationaux et un fort égoïsme individuel. Les flux de matière engendrés par l'homme, qui extrait les matières premières de l'environnement, pour ensuite, les transformer en produits ou biens de consommation et, finalement, les retourner nouvellement à l'environnement comme déchets, sont une des principales causes de dégradation de notre environnement.

Le texte suivant approfondit le problème du désapprovisionnement[1] des déchets urbains, qu'ils soient liquides ou solides, en les intégrant aux autres flux urbains. En se basant sur le concept de métabolisme urbain[2], élément du métabolisme global[3], une évaluation des situations les plus critiques et des solutions possibles sera effectuée, avec l'objectif de garantir, à long terme, un équilibre naturel durable[4].

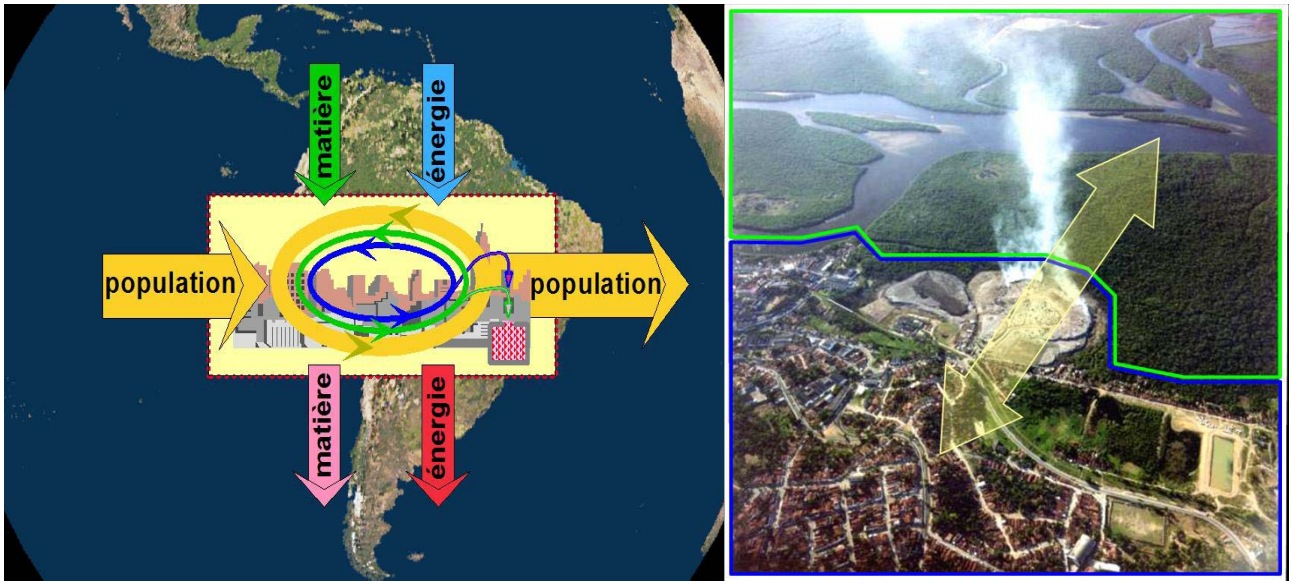

Fig. 1 Flux et métabolisme urbain : de la théorie à la réalité

[1] Terme technique regroupant les différents processus nécessaires pour rendre à l'environnement les flux de déchets. Il comporte, en général, au moins, les trois étapes suivantes: transport, traitement, stockage.

[2] Par similitude au sens biologique du métabolisme (Ensemble des transformations et des flux de matière et d'énergie qui interviennent dans une cellule ou dans un organisme vivant, durant son cycle de vie), le métabolisme urbain est l'ensemble des transformations et des flux de matière et d'énergie ainsi que de personnes qui interviennent dans une zone urbaine, durant un cycle de vie.

[3] Ensemble des transformations et des flux de matière et d'énergie présents à la surface du globe, durant un cycle de vie.

[4] Par équilibre naturel, on entend l'équilibre présent sur la terre, incluant l'être humain.

2 EQUILIBRE NATUREL ET LIMITE DU DEVELOPPEMENT

Lorsqu'on parle d'équilibre naturel, on entend l'équilibre existant durant les siècles passés, pendant lesquels, sauf à quelques exceptions, l'homme a pu se développer et se répandre, sans compromettre significativement l'environnement. Or, on parle souvent d'équilibre naturel, en mettant l'homme au-dessus de la nature et en considérant les conditions environnementales actuelles comme durables et permettant la survie du genre humain, avec développement illimité. Rien de plus erroné ! L'état actuel n'est pas du tout durable. L'homme ne peut pas être placé au-dessus de l'environnement, mais il en fait une partie. La nature connaît déjà aujourd'hui des états de déséquilibre naturel ne garantissant pas la survie de l'être humain, à long terme. Toutefois, il existe, actuellement, peu d'endroits où des conditions vitales pour la survie de l'homme ne sont pas présentes, mais cette situation pourrait changer rapidement et, l'homme pourrait être la cause de la destruction de son milieu vital.

Jusqu'au siècle passé, on estimait que les ressources terrestres étaient presque inépuisables et que le pillage de telles ressources, souvent accumulées pendant des millions d'années (ex. pétrole), était possible sans conséquences environnementales significatives. En outre, quoique physiquement, il était clair que la terre était un environnement limité, dans la vision générale, elle était perçue comme illimitée.

En fait, la planète terre doit être vue comme une portion d'espace où des flux de matière et, surtout, d'énergie entrent et sortent, dans un fragile et changeant équilibre (notion de métabolisme global). Il est donc évident que, dans une telle situation, l'humanité ne pourra pas continuer à se développer comme elle l'a fait jusqu'à présent, exploitant des ressources terrestres, et augmentant sa production de déchets au sens large (matière et énergie devenue inutile pour l'homme) et les dissipant dans l'environnement

Aujourd'hui il est évident que le développement humain a des limites, peut-être pas qualitatives, mais certainement quantitatives.

3 EVOLUTION DES FLUX DE MATIERE ET D'ENERGIE

Etant donné le constat précédent, les réflexions suivantes analyseront les flux de matière et d'énergie entrant et sortant d'une zone urbaine et leurs conséquences sur l'environnement, ceci dans l'otique de proposer des pistes pour une planification intégrée du territoire permettant de réduire les impacts environnementaux.

3.1 Flux d'énergie et effet de serre

La chaleur et, en général, l'énergie de l'univers qui arrive sur la superficie terrestre, provient, en très grande majorité du soleil, exception faite des énergies d'origine terrestre (géothermique et nucléaire). La terre, à son tour, disperse la chaleur par rayonnement. En outre, la nature est en mesure d'accumuler de l'énergie par la photosynthèse, en produisant de la biomasse (composée d'hydrogène, de carbone et d'oxygène, ex. bois), qui peut être stockée pour de très longues périodes (ex. pétrole).

L'accumulation d'énergie sous forme de chaleur provoque une élévation de la température qui, à son tour, augmente fortement les émissions énergétiques terrestres par rayonnement vers l'univers. Les émissions d'énergie calorifique étant proportionnelles à la puissance 4 de la température[5], cela laisserait supposer que l'équilibre thermique de la terre est garanti, grâce à une autorégulation naturelle. Malheureusement, un autre effet entre en jeu : pour combler ses besoins en énergie, l'homme puise dans les réserves emmagasinées dans les sédiments et, libère ainsi du carbone dans l'atmosphère, sous forme de CO_2, qui, à son tour, fait fonction de bouclier thermique en renvoyant vers la superficie terrestre une grande partie du rayonnement thermique de celle-ci, provoquant une augmentation de la température moyenne (phénomène de l'effet de serre).

A cause des actuels besoins énergétiques de l'homme, un contrôle sérieux des impacts environnementaux n'est pas envisageable sans considérer conjointement les flux d'énergie et de matières. Le CO_2, émis dans le domaine de l'approvisionnement énergétique de notre civilisation, doit être vu comme un véritable déchet (déchet urbain gazeux) lorsqu'il est dissipé dans l'atmosphère.

En synthèse,

- La consommation énergétique n'est pas le vrai responsable de l'effet de serre, mais plutôt le type d'approvisionnement (pétrole et charbon), qui conduit à la production de CO_2, déchet gazeux urbain et gaz à effet de serre.
- Le développement et le bien être de la civilisation mondiale actuelle sont, en grande partie, dépendantes de l'énergie fossile.
- Renoncer à cette source d'énergie constituerait une limite claire au développement, et dans un futur immédiat, pourrait engendrer une grave crise mondiale. Perpétuer la situation actuelle, sans mettre en place des solutions adéquates, mettrait en péril le bien être et le développement des générations futures.

[5] Qirr ~ T4

- L'unique voie à préconiser est celle d'un développement durable (tendant à un équilibre durable), qui réduirait progressivement la dépendance envers les énergies fossiles, en contenant, dans les limites du possible, l'augmentation de la consommation (en améliorant les rendements), en récupérant l'énergie des déchets (souvent liée aux flux de matière sortant des zones urbaines) et en développant des sources d'énergie renouvelables. L'énergie nucléaire ne peut y être incluse, tant que le problème des déchets radioactifs n'est pas réellement résolu.

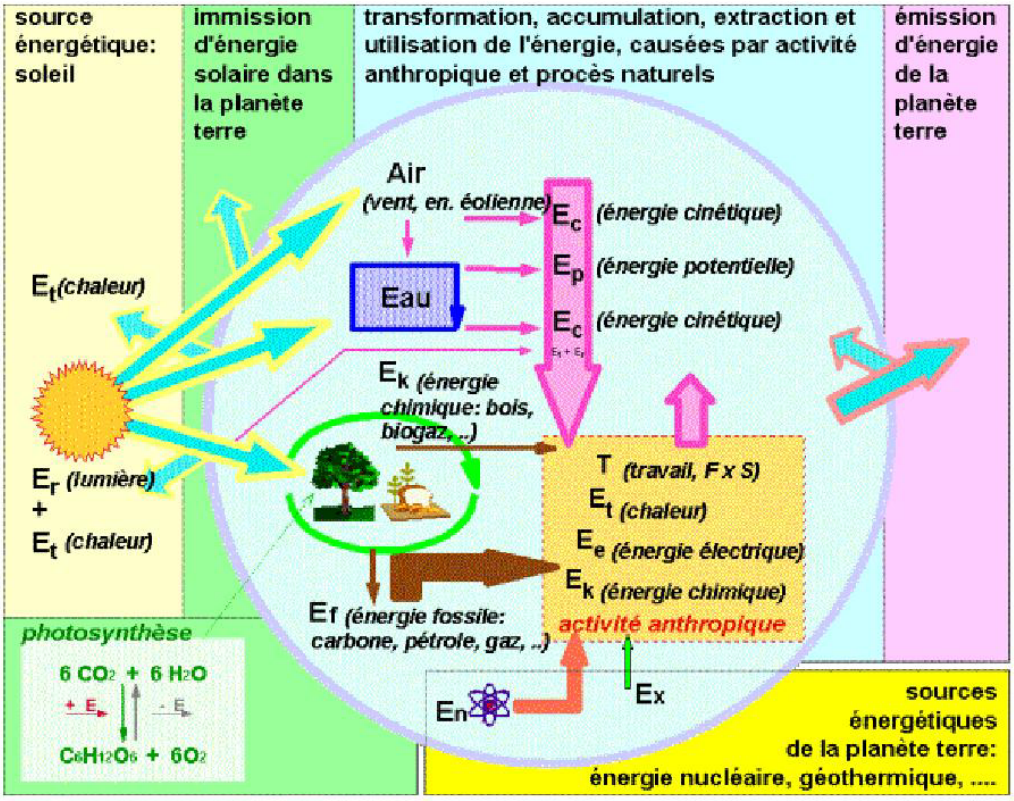

Fig. 2 Schéma des flux d'énergie terrestre

3.2 Récupération énergétique du traitement des déchets

Mais quelles sont les possibilités concrètes de traitement des déchets pouvant fournir une solution aux problèmes énergétiques cités ?

Avant tout, il faut préciser que les possibilités décrites ont un effet non négligeable, même si, quantitativement, elles ne résolvent pas complètement le problème. En règle générale, la récupération de l'énergie contenue dans les déchets s'effectue par combustion dans des installations appropriées, communément nommées usines d'incinération. En 2004, les usines d'incinération suisses ont brûlé des déchets pour un total de 10'585'662 MWh, avec une récupération énergétique totale (électricité + chaleur) de 3'571'000 MWh, c'est-à-dire 33.7% de l'énergie des déchets. Cette énergie a permis de couvrir le 4.2% de la consommation énergétiques des ménages [6]. Théoriquement, dans des conditions techniques et économiques optimales, on devrait pouvoir attendre le 10 %. En outre, il faut tenir compte que de l'énergie contenue dans les déchets, spécialement dans les déchets solides urbains, provient essentiellement de deux sources : 30-60% des produits synthétiques dérivés des pétroles (plastiques) et le reste de la biomasse (bois, papier, cartons, etc.). Dans les deux cas, la récupération énergétique comporte une production et dissipation de CO_2 dans l'atmosphère. Toutefois, seulement le premier devrait être comptabilisé comme facteur augmentant de l'effet serre, puisqu'en brûlant les matières plastiques, on transfère du C des sédiments vers l'atmosphère, alors que le C contenu dans la biomasse circule déjà naturellement dans la biosphère et fait donc partie de l'équilibre naturel normal.

L'énergie récupérée de la combustion des déchets est de deux types : énergie électrique et énergie thermique (chaleur). Dans une usine d'incinération moderne, la récupération énergétique totale peut atteindre le 60% de l'énergie contenue dans les déchets (15-20% pour l'énergie électrique et 35-45% pour la thermique). Cependant, il ne sert à rien de produire cette énergie en absence d'utilisateurs. Pour l'énergie électrique, sa valorisation pose peu de problème puisqu'elle peut être mise en réseau et l'utilisateur peut se trouver à des très grandes distances. La valorisation de l'énergie thermique est plus problématique, puisqu'il faut disposer d'utilisateurs à proximité immédiate de l'usine (rayon de ~10 km). En outre, ceux-ci

[6] Données élaborées à partir de: L'ENVIRONNEMENT SUISSE STATISTIQUE DE POCHE 2006, OFS & OFEV et STATISTIQUES DES DECHETS 2004, OFEV

devraient être en mesure d'absorber de l'énergie pendant toute l'année (sauf éventuellement pendant la période d'entretien périodique des installations). Le seul réseau de chauffage à distance ne garantit pas une utilisation suffisante. Une combinaison avec des centrales de climatisation, en mesure d'absorber de l'énergie thermique en été, pourrait représenter une nette amélioration. Il serait encore mieux de disposer d'industries en mesure d'absorber toute l'énergie thermique disponible. L'idéal serait pouvoir relier l'usine d'incinération à un réseau de distribution d'énergie thermique à distance, dans lequel il existerait des chaudières en mesure de moduler de la production en fonction de la demande et, ainsi, de garantir la continuité de fourniture, même pendant les périodes d'entretien ou de dysfonctionnement de l'usine (environ 3-4 semaines par an).

En synthèse,

- L'incinération des déchets solides avec une récupération énergétique (spécialement des déchets urbains), est une opération souhaitable du point de vue environnemental, sous réserve que les émissions de matière (gaz, particules fines et scories) n'aient pas un impact significatif, ce qui techniquement est réalisable.
- L'incinération de la biomasse, du point de vue de l'effet de serre, est considéré comme neutre, et peut devenir une opération positive si l'énergie produite est substituée à une source d'énergie fossile.
- L'incinération de matières plastiques, du point de vue de l'effet de serre, est une opération négative, à cause du transfert de C des sédiments dans l'atmosphère sous forme de CO_2, dont il est possible de diminuer l'impact uniquement par une forte récupération énergétique.
- En l'absence totale de sites de récupération de l'énergie produite par un incinérateur de déchets, sa réalisation est à déconseiller. De plus, une récupération uniquement de l'énergie électrique n'est pas suffisante.
- Pour justifier, du point de vue environnemental et économique, la récupération de l'énergie thermique, il est nécessaire de disposer d'utilisateurs situés à une distance adéquate de l'incinérateur. De plus, pour des raisons économiques et de planification du territoire, sa réalisation et sa gestion doivent être envisagées pour plusieurs décennies (au moins 30 ans).

3.3 Flux de matière et processus de dégradation

L'augmentation de la population est la cause principale de l'augmentation de la production de déchets. De plus, la tendance à se concentrer dans de grands centres urbains engendre une concentration équivalente de la masse de déchets à traiter. De ce fait, la dégradation naturelle de la matière organique des déchets est passée d'un processus aérobique (en présence d'oxygène) utilisé dans les petites communautés rurales, à un processus anaérobique (sans oxygène), typique des décharges actuelles.

Les deux procédés de dégradation émettent de fortes quantités de gaz. Mais, alors que les émissions gazeuses des procédés aérobiques sont composées essentiellement de CO_2 et d'eau, celles des procédés anaérobiques, communément appelés biogaz, contiennent du CH_4 (méthane) a plus de 50% de leur volume.

Ceci amène deux effets :

Aspect négatif

- Le CH_4 est un gaz à fort effet de serre (environ 21 fois supérieur au CO_2 pour une masse équivalente), ce qui amène à un état de déséquilibre naturel, quelle que soit l'origine des déchets. En effet, contrairement à la production de CO_2 qui pouvait être considérée comme neutre pour des déchets d'origine organique, la production de CH_4 ne peut pas être envisagée comme un processus similaire à ceux présents dans un équilibre naturel.

Aspect positif

- Le CH_4 est un gaz combustible. En effet, contrairement au processus aérobique, où l'énergie est dispersée sous forme de chaleur, une grande partie de l'énergie contenue dans la biomasse est conservée dans la molécule de méthane. Cette énergie peut être récupérée et utilisée pour un processus de production, se substituant à une autre forme d'énergie fossile.

3.4 Récupération énergétique des décharges

Les procédés anaérobiques décrits sont présents dans les décharges de déchets urbains. Il est possible de combiner les deux effets cités afin de faire passer l'impact environnemental négatif d'une décharge, à un impact neutre, ou même positif, pour ce qui est des émissions gazeuses. Actuellement, les possibilités de tendre vers cette amélioration sont les suivantes :

- Au niveau mondial, les décharge de déchets urbains sont actuellement la technique de traitement la plus utilisée. En effet, très peu de pays disposent de suffisamment d'installations de prétraitement des déchets[7], avant un dépôt final en décharge.
- La décharge de déchets urbains est le système qui demande le plus faible coût d'investissement initial et dont les coûts restants peuvent être répartis durant les années de gestion. Par contre, il est facile et très risqué de réaliser des économies excessives, durant les phases de réalisation et de gestion, sans conséquences environnementales immédiates, mais dont l'impact négatif significatif n'apparaîtra que des années après sa fermeture.

[7] Le système de prétraitement des déchets est, en règle générale, l'usine d'incinération. Dans le cas de la Suisse, la loi prescrit l'incinération de la totalité des déchets combustibles (OTD).

- La plupart des décharges actuelles émettent de grandes quantités de CH_4. Elles ont donc un impact négatif significatif sur l'environnement.
- Les techniques modernes de captation de la plupart du biogaz produit, permettent une forte réduction des émissions gazeuses critiques.
- S'il existe à proximité de la décharge des structures en mesure d'utiliser du biogaz, il serait judicieux d'exploiter son énergie et en la substituant à autres énergies d'origine fossile, permettrait d'obtenir un bilan environnemental neutre ou même positif.

Pour conclure, il ressort de ce chapitre que pour optimiser la récupération énergétique des usines d'incinération et des décharges, il est impératif d'envisager et de planifier leur insertion dans le tissu urbain.

4 EVOLUTION DE L'OCCUPATION DU TERRITOIRE ET DE PRODUCTION DE DECHETS

Au cours du millénaire, la population mondiale a augmenté de façon drastique, avec comme conséquence une augmentation globale de la quantité de déchets d'origine humaine. Au cours du dernier siècle, le style de vie de la majeure partie de la population mondiale est passé, progressivement, d'une économie agricole et de subsistance à une économie caractérisée par la consommation, avec comme conséquence une augmentation spécifique (par personne) de la quantité de déchets d'origine humaine. Au cours des dernières décennies, la concentration des centres de production de biens a causé une augmentation des distances de transport, donc une nécessité croissante d'emballage ayant comme conséquence l'augmentation du rapport masse en emballage sur masse du produit. Malgré les récents efforts de réduction à la source d'une part, et d'autre part les progrès du recyclage, l'augmentation de la production globale de déchets continue. La quantité de déchets solides devant être mise en décharge augmente toujours et les lieux adéquats[8] disponibles sont toujours plus rares. En Europe, et surtout en Suisse, le manque de sites adéquats pour la construction de décharges pour déchets urbains non traités[9] est de plus en plus évident.

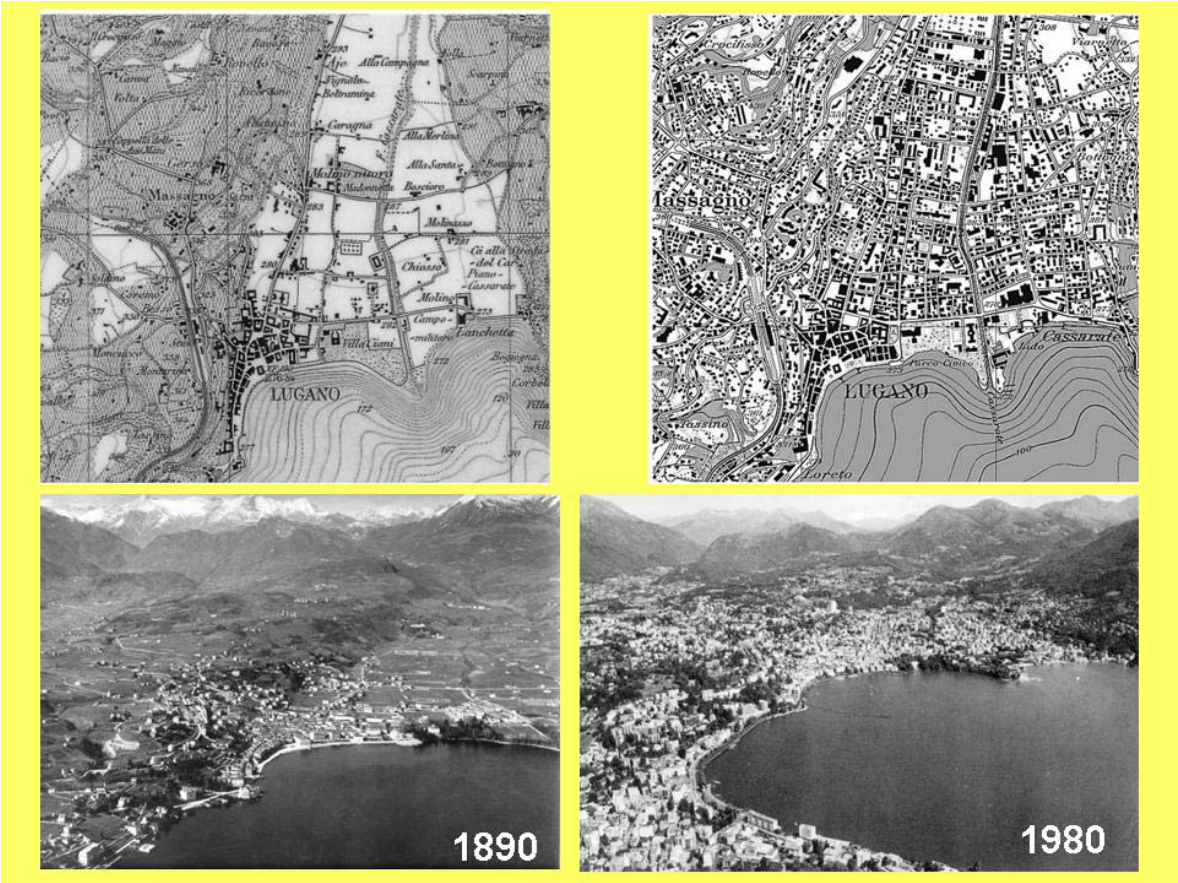

Fig. 3 Evolution de la ville de Lugano

[8] Par adéquat, on entend des conditions géologiques et hydrogéologiques sûres et une distance acceptable de la zone urbaine de production.

[9] Le traitement de déchets urbain actuellement le plus utilisé est l'incinération. En Suisse, il est prescrit dans la législation fédérale et l'Europe semble aussi adhérer à cette tendance.

Souvent, les sites adéquats pour la réalisation de décharges sont les mêmes que ceux convoités pour l'expansion urbaine : il en résulte une concurrence inopportune. En effet, les décharges sont une conséquence inévitable des zones urbanisées. Ces dernières pourront donc difficilement survivre sans une gestion réfléchie des déchets dont la décharge est un élément incontournable. En d'autres termes, la survie des zones urbaines dépend de la capacité de l'homme à garantir un métabolisme urbain équilibré, par une gestion adéquate des flux de matière. Dans ce sens, une attention particulière doit être portée à la problématique des déchets, dont le traitement doit être intégré à la planification territoriale, avec une vision à moyen et long terme.

5 PLANIFICATION TERRITORIALE ET FLUX DE MATIERE ET D'ENERGIE

Une planification territoriale, ayant comme but une utilisation rationnelle et environnementale correcte des surfaces utilisées par l'homme, doit garantir à long terme l'équilibre métabolique[10]. Pour cela, toute intervention humaine sérieuse sur le territoire doit inclure, dans sa phase de planification, une définition des buts, des limites spatiales et temporelles, ainsi que des facteurs limitants. Une grande partie de ces facteurs sont liés aux flux de matière qui interviennent dans le métabolisme urbain : flux solides, liquides et gazeux. Ces flux sont modifiés par les interventions humaines. L'ampleur de cette modification, par rapport à l'équilibre naturel, est corrélée directement avec l'impact environnemental de l'intervention. L'homme, peu importe le motif de son intervention, doit donc montrer ses capacités à contrôler les flux critiques et à en atténuer les retombées négatives.

Les flux sortants, dont les déchets font partie intégrante, peuvent être divisés en trois catégories :

- *Flux gazeux* (diffusion volumétrique illimitée). Pratiquement impossibles à contrôler une fois introduits dans l'environnement. Le contrôle de leurs effets doit donc être effectué avant leur émission, sous peine d'un impact local et global incontrôlable.
- *Flux liquides* (diffusion volumétrique limitée à la surface et sous terre). Possibles à contrôler avec des moyens et des méthodes parfois considérables et complexes, mais avec de bonnes chances d'arriver à limiter l'impact local et global à des valeurs acceptables pour l'environnement.
- *Flux solides* (diffusion possible uniquement au travers d'agents externes, surtout liquides ou gazeux). Contrôle du flux peu compliqué, avec un impact local facile à contenir dans des limites acceptables pour l'environnement.

Etant donné les caractéristiques de ces différents flux, les meilleures possibilités d'action, au niveau de la planification du territoire, se situent dans le contrôle des flux liquides. Le contrôle des autres flux s'effectuera au travers de normes spécifiques, appliquées aux points d'émission. Ce choix permet d'agir avec des effets significatifs dans les secteurs suivants:

- Nutrition (eau potable et irrigation)
- Energétique (énergie hydroélectrique)
- Transport de marchandise (fluvial, lac, mer)
- Transport de polluants (canalisation d'eau usée)
- Géotechnique (érosion des terrains)

Pour réaliser un contrôle efficace des flux liquides, il est nécessaire de définir des zones de planification aux dimensions adéquates et intégrables entre elles, afin de pouvoir analyser la situation existante et proposer des solutions techniques. Ces solutions devront être en mesure de représenter un compromis idéal entre les nécessités directes de la population et celles indirectes et souvent retardées dans le temps, liées à son environnement vital. De règle générale, des telles aires coïncident avec les bassins versant[11]. Ils peuvent être soit divisés en sous-bassin jusqu'à des dimensions insignifiantes à niveau de la planification (ex. maison individuelle), soit groupés avec d'autres bassins versant, permettant une vision à grande échelle. En outre, l'équilibre environnemental de la zone aménagée, ne doit pas être atteint au détriment des zones extérieures, puisque, tôt ou tard, toutes en ressentiraient les effets négatifs globaux. La planification environnementale de la zone prise en considération, avant de devenir opérationnelle, doit être vérifiée quant à son intégration avec les zones adjacentes en veillant à ce qu'elles ne subissent pas un impact environnemental significatif.

En conclusion, une planification correcte du territoire doit contenir une prise en compte concrète des bilans des différents flux pour la zone étudiée, ainsi qu'une évaluation crédible de leurs impacts (positifs ou négatifs) et éventuellement des nouveaux équilibres créés. Ces bilans devront être évalués avec une précision suffisante pour les trois phases de vie des installations, soit la construction, la gestion et la mise hors service(démolition et reddition à la nature ou prédispositions pour une nouvelle utilisation). De plus, un bilan équilibré ne pourra être garantit en tout temps, il faudra donc prendre en compte l'accumulation de matière ou d'énergie à l'intérieur de la zone et prévoir des zone de stockage.

[10] C'est à dire un équilibre entre les flux de matière et d'énergie, typique du métabolisme urbain..

[11] Superficie élémentaire hydrologique close, dans laquelle toute l'eau coule en direction d'un unique exutoire. Le bassin versant correspond à l'unité géographique sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique et des ses effets (EPFL-Musy)

6 PLANIFICATION DU TRAITEMENT DES DECHETS

Suite aux considérations précédentes, il est possible de proposer une série de recommandations pour la gestion des flux de déchets (partie des flux sortant), qui devraient servir de base de discussion pour une planification future. Elles sont valables tant au niveau constructif, que pour la gestion ainsi que pour la mise hors service des installations :

- Favoriser la réduction à la source de la production de tous les types de déchets, en intervenant sur les produits et sur leur utilisation (y compris les matériaux de construction).
- Planifier toute la filière de désapprovisionnement d'une façon intégrée et réaliser les divers éléments (lieux de stockage temporaire, voies de transport, aires pour le traitement des déchets et pour le dépôt final de leurs dérivés solides) en fonction des nécessités, en tenant compte de:
  - Favoriser le recyclage des déchets, si cela est techniquement possible, opportun pour l'environnement et économiquement supportable.
  - Favoriser la récupération énergétique des déchets, ceci permettant de réduire la dépendance envers d'autres sources, plus critiques pour l'environnement.
  - Favoriser, tant que possible, le traitement des déchets en les transformant en dérivés neutres et pouvant être réinsérés dans l'environnement (ex. compostage), ceci permettant de réduire notre dépendance envers les décharges grandes consommatrices d'espace.
  - Traiter les déchets critiques (xénobiotiques, métaux lourds, solvants,..) en neutralisant leur potentiel polluant et en concentrant les dérivés critiques non neutralisés et en les déposant en un lieu sûr.
- Réserver des lieux sûrs (géologie, hydrogéologie,…) ayant un volume suffisant, en tenant compte des nécessitées des générations futures, pour le dépôt final des matériaux solides dérivés du traitement des déchets, des déchets non recyclables, ou à traiter ultérieurement.
- Planifier l'organisation territoriale permettant une utilisation rationnelle de l'énergie produite par le traitement des déchets. En particulier, pour l'énergie thermique, favoriser l'implantation proche (dans un rayon maximum indicatif de 10 km) d'entités spécifiques ayant la capacité d'absorber toute la production.
- Engager une réflexion globale de contrôle des flux liquides à l'échelle des bassins versants, dans le but d'évaluer l'intégration du projet de détail dans l'environnement global.

Ces propositions ne pourront être mises en œuvre que par une collaboration concrète entre ingénieurs, architectes et responsables de l'aménagement du territoire. De plus, des normes adaptées devront être élaborées et proposées permettant de réaliser ces propositions.

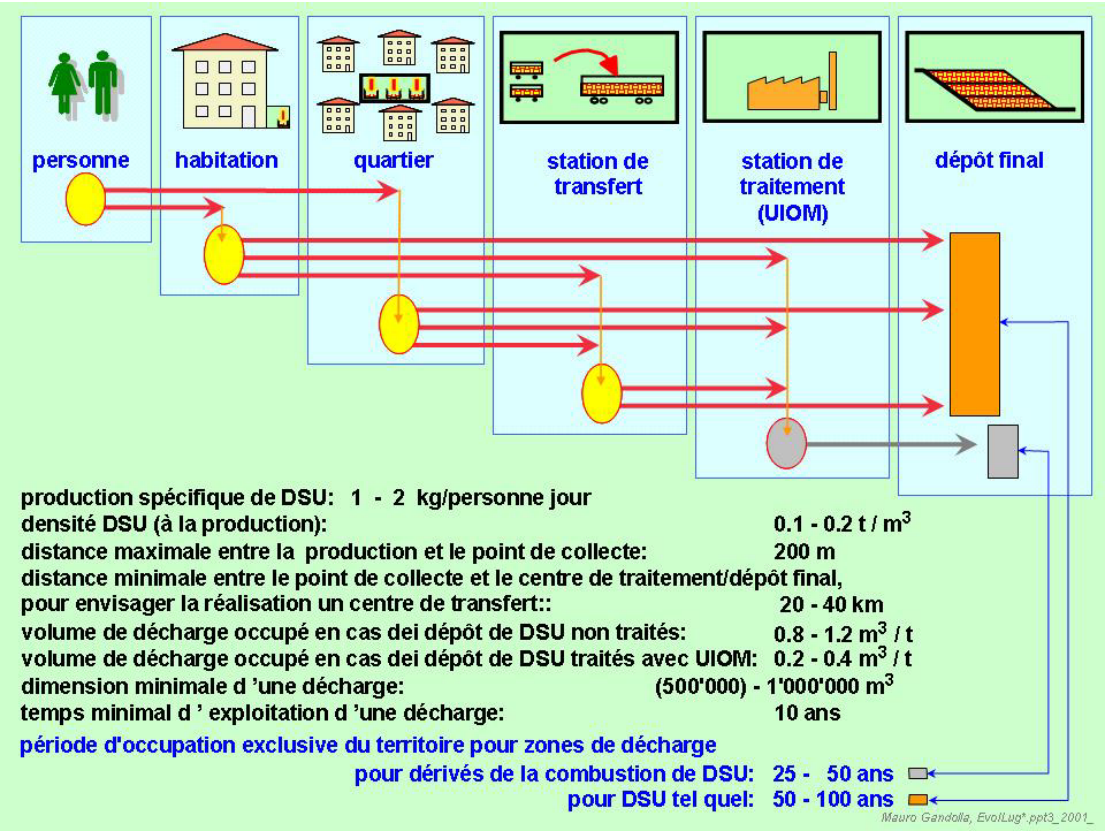

Fig. 4 Schéma du désapprovisionnement des déchets avec les volumes, distances et temps à considérer

7 CONCLUSION

La situation est complexe et mériterait des approfondissements. Néanmoins, il ressort qu'actuellement, il n'est plus envisageable de gérer la problématique des déchets de manière sectorielle et indépendante des autres flux, sans prendre en compte l'organisation territoriale. Une collaboration entre les différents acteurs du territoire (techniciens, ingénieurs, architectes, aménagistes, économistes et politiciens) est indispensable. Il est impératif de prendre en compte la gestion des flux de déchets dans toute volonté de développement d'une zone, d'effectuer des bilans des différents flux à long terme et de prévoir des scénarios économiques qui pourraient modifier leur équilibre.

Il n'est également plus possible de travailler sur une zone sans considérer les zones adjacentes. La proposition d'utiliser le bassin versant comme zone de contrôle permet d'évaluer les impacts sur les bassins adjacents et des les regrouper ou de les diviser afin de travailler à diverses échelles.

Toutes ces propositions visant un équilibre du système ne seront possibles qu'en travaillant de manière interdisciplinaire, avec des personnes capables de vision globale, à long terme. Il serait judicieux de proposer une formation, développant les capacités de collaboration des différents spécialistes en les formant à la conduite de projets à grande complexité interdisciplinaire.

Enfin, le cas de la Suisse, nation au territoire exigu, géologiquement et morphologiquement difficile et au développement rapide, pourrait servir d'exemple. Les réussites et échecs devraient être analysés et divulgués dans l'intérêts des autres régions en cours de développement.

8 BIBLIOGRAPHIE (PAR ORDRE ALPHABETIQUE)

GANDOLLA M., (2006), « Cours Ecologia e territorio», Accademia d'architettura, UNISI

MUSY A., (2005) « Cours hydrologie générale », EPFL, section SIE et GC

« L'environnement suisse statistique de poche 2006 », OFS & OFEV

« Statistique des déchets 2004 », OFEV

Bioggio/Genève, 14.09.06