

MILLE ANS D'EXTENSION URBAINE À NEUCHÂTEL : ÉVOLUTION DES PAYSAGES ET DES SOLS

JOËL AMOSSÉ^{1,2}, JEAN-PIERRE JELMINI³, ELENA HAVLICEK¹, EDWARD A.D.
MITCHELL², RENÉE-CLAIRE LE BAYON¹ & JEAN-MICHEL GOBAT¹

¹ Université de Neuchâtel, Institut de biologie, Laboratoire Sol et Végétation, Rue Emile-Argand 11, 2000 Neuchâtel, Suisse

² Université de Neuchâtel, Institut de biologie, Laboratoire de Biologie du Sol, Rue Emile-Argand 11, 2000 Neuchâtel, Suisse

³ Historien, Ancien conservateur du Musée historique et des Archives de la Ville de Neuchâtel, Rue de la Rosière 6, 2000 Neuchâtel, Suisse.

Mots-clés: Neuchâtel, histoire, écosystèmes, sols urbains, pédogenèse, diversité.

Keywords: Neuchâtel, history, ecosystems, urban soils, pedogenesis, diversity.

Résumé

Depuis un millénaire et même bien avant, les sols et les paysages de Neuchâtel ont connu des évolutions marquées par le passage de l'homme. Retracer ces évolutions n'est pas chose aisée car les écosystèmes et les sols en ville et en périphérie sont en perpétuel mouvement, laissant parfois peu de traces du passé. Neuchâtel est une ville millénaire riche en histoire. Sa configuration particulièrement tributaire de la topographie a été marquée par différentes périodes de développement bien connues sur la forêt, la vigne ou encore sur le lac lors de la première Correction des eaux du Jura, à la fin du XIX^{ème} siècle. L'objectif de notre étude a été de comprendre, au travers de la prise en compte des grandes phases historiques de la ville de Neuchâtel, la dynamique de l'emprise des écosystèmes urbains sur les écosystèmes annexes (forestiers, lacustres et agricoles). La méthode utilisée a été fondée sur la caractérisation du paysage classique, c'est-à-dire visible par l'observateur, par le biais de l'étude de supports visuels et autres documents d'archives, et sur la compréhension du paysage «invisible», à savoir par l'étude des sols. Les résultats montrent que l'étude combinée des paysages «du dessus» et «du dessous» permet souvent de bien délimiter les différentes phases d'extension de l'écosystème urbain sur les écosystèmes annexes.

Abstract

Since a millennium and even well before, soils and landscapes of Neuchâtel have been influenced to various degrees by human activities. Reconstructing these changes is not an easy task because ecosystems and soils in the city and its suburb are in permanently changing leaving few traces of the past. Neuchâtel is a thousand year old city with a rich history. Its configuration, particularly dependent on the topography, was marked by different well-known historical periods of development over forests, vineyards and the lake after the first correction of the water level of the three Jura lakes at the end of the XIXth century. The aim of our study was to understand, through the most important historical periods of the city of Neuchâtel, the

dynamic of urban ecosystems on secondary ecosystems (forest, lakeside and agricultural). The method was based on the classic (i.e. visible to the observer) characterization of the landscape, through visual media and others archive documents, and the understanding of the "invisible" part through the study of soils. Our results showed that the combined study of the "aboveground" and "belowground" landscapes often allow to determine the limits of the different historical periods of urban ecosystem extension over surrounding ones.

DES HOMMES ET DES ÉCOSYSTÈMES

Un milieu paradoxal : l'écosystème urbain

Comme les animaux, les plantes ou les microorganismes, les êtres humains font partie intégrante de l'écosystème. Dans le milieu urbain, DUVIGNEAUD & DENAYER-DE SMET (1977) les attribuent d'ailleurs à une biocénose particulière, l'«anthropocénose», qui constitue la biomasse la plus importante de l'écosystème urbain. Bien que ce milieu nous soit familier, il apparaît étrange d'associer le terme d'écosystème aux espaces urbains. Pourtant, dès 1935, l'inventeur du concept d'écosystème intégrait pleinement l'espèce humaine à ce concept fondamental de l'écologie : « Nous ne pouvons pas nous limiter aux entités prétendument "naturelles" et laisser de côté les processus et les phénomènes végétaux que nous fournissent aujourd'hui aussi abondamment les activités de l'homme. L'analyse scientifique doit aller au-delà des apparences formelles des entités "naturelles" » (TANSLEY, 1935).

Du latin *urbis*, la ville, les écosystèmes urbains se localisent dans les agglomérations (CHEVERRY & GASCUEL, 2009) mais pas exclusivement, à l'image des talus bordant les autoroutes en rase campagne. Ces écosystèmes sont caractérisés par une interpénétration d'éléments naturels et d'éléments artificiels liés aux technologies humaines (DUVIGNEAUD, 1984). L'écosystème urbain est donc un espace physiquement dominé par les constructions visibles comme les immeubles ou les routes, et des

infrastructures enfouies telles les canalisations et les lignes électriques. Il contient aussi une riche mosaïque d'espaces verts – parcelles forestières, parcs, jardins, toits végétalisés, friches urbaines – constituant le « cœur » vivant de l'écosystème. Néanmoins, un milieu urbain ne possède pas toutes les fonctions écosystémiques permettant son maintien de manière indépendante. Il est tributaire des écosystèmes adjacents, naturels ou semi-naturels comme une forêt, un lac ou une rivière, et anthropisés, comme l'agro-écosystème. L'énergie alimentaire dont ont besoin les organismes urbains, au premier chef l'être humain, provient des zones agricoles, alors que l'épuration de l'air, par exemple, est assurée par les forêts plus ou moins proches.

L'écosystème forestier...

L'écosystème forestier¹ est fréquemment décrit comme l'un des plus « sains », par son équilibre général avec les facteurs abiotiques (<http://www.lpretre.com/travaux/foret/ne>). Il existe cependant une large gamme de forêts allant des forêts dites primaires aux forêts dites urbaines², avec des situations intermédiaires (CARREIRO & TRIPPLER, 2005) en fonction de leur localisation, de leur usage (récréatif, sylvicole, réserve de biodiversité, protection de captage d'eau potable...) et des rôles respectifs qu'elles assurent (régulation hydrique et thermique, limitation de l'érosion, traitement des polluants...). Les forêts périurbaines, malgré leur apparente « naturalité », sont profondément influencées par la proximité des agglomérations.

1: Forestier vient du latin *forestis*, lui-même dérivé de *foris* signifiant « hors de », sous-entendu de l'influence humaine.

2: La forêt urbaine, un concept défini à la fin du XX^e siècle, est une entité située dans une aire urbaine, notion géographique utilisée en urbanisme pour définir une zone occupée essentiellement par des constructions (DORIER-APPRILL et al., 2006). La forêt périurbaine est, elle, localisée à proximité immédiate de l'aire urbaine.

Au cours des siècles, leur extension a été modifiée ; des structures archéologiques intra-forestières, comme d'anciens murs ou structures agricoles par exemple (COMBE & RIEDER, 2004), démontrent le changement d'occupation spatiale avec une aire forestière en régression ou en augmentation selon la démographie.

L'agro-écosystème : un voisin nécessaire des villes

Les écosystèmes sont caractérisés par un certain nombre de fonctions : parmi ces dernières, la production de biomasse, assurée majoritairement par les végétaux dans les écosystèmes terrestres, forme classiquement la base du réseau trophique. C'est au travers de la photosynthèse que l'énergie pénètre dans le milieu, couplée à la biomasse (FRONTIER et al., 2008). Après que cette biomasse a été consommée par les différents niveaux trophiques (herbivores, carnivores, omnivores), les processus d'humification et de minéralisation permettent de boucler le cycle des matières dans l'écosystème, l'énergie résiduelle le quittant sous forme de chaleur. Classiquement, même si les villes possèdent des espaces verts, de dimensions variables, seul un très faible pourcentage de la photosynthèse urbaine est dévolu à l'alimentation des habitants de la ville. L'existence d'un agro-écosystème producteur de denrées alimentaires est donc un préalable indispensable au fonctionnement de l'écosystème urbain. Au début proche géographiquement de la ville, il en est devenu de plus en plus distant au fur et à mesure du développement des échanges économiques.

Des hommes et des sols

Tous les écosystèmes terrestres comportent un sol plus ou moins développé ; s'il constitue la partie « invisible » du paysage, il n'en est pas moins un élément fonctionnel indispensable. Il est partielle-

ment responsable de la fonction de production et entièrement de la fonction de décomposition, puisque tous les processus liés à cette dernière sont assurés par la pédofaune et les microorganismes. En outre, le sol est un ensemble dynamique complexe, qui se forme, évolue, atteint un équilibre et peut se dégrader (DUCHAUFOUR, 1997, in BARLES et al., 1999). L'appropriation des usages qui lui sont liés (substrat pour les plantes, régulateur du régime hydrique, etc.) joue un rôle déterminant sur les fonctions qu'il assure. Les sols urbains, terme générique utilisé pour définir les sols de la ville, sont ainsi hautement perturbés et sujets à des modifications profondes et souvent rapides. Les stress environnementaux urbains en altèrent les propriétés originelles : température, teneur en eau, éléments nutritifs, pollution, compaction, pH, faune du sol, etc. La majorité des sols en milieu urbain présente donc des propriétés défavorables à la croissance et au développement des plantes, des microorganismes et des animaux du sol. Les organismes se développent dans des matériaux anthropiques souvent peu riches en éléments nutritifs, très alcalins, parfois asphyxiants, peu aptes à la croissance et au développement des racines.

L'intérêt de l'étude des sols dans un contexte d'évolution historique, particulièrement pour des milieux soumis aux influences humaines, réside également dans une mémorisation temporelle différenciée : alors que les structures apparentes (forêts, cultures, agglomérations) peuvent changer très rapidement (variabilité du paysage visible), le sol intègre souvent les éléments du passé, par aggradation (dépôt de nouveaux matériaux sur les anciens), par conservation d'éléments allochtones (briques, os, ...) ou par modification et conservation partielle d'anciens traits pédologiques. Ainsi, la comparaison entre le paysage « visible » et celui qui est « invisible » permet de mettre en lumière les changements écosystémiques et leur chronologie.

Suite à la récente prise de conscience de l'important rôle joué par les écosystèmes urbains (Cf. Agenda 21, in <http://www.icleiusa.org>), les recherches dans le domaine de leurs sols connaissent un essor notable durant ces dernières années (LEHMANN & STAHR, 2007 ; BAIZE & GIRARD, 2009). Ce champ spécifique de la science du sol s'ouvre sur une intégration de nombreuses approches comme le Génie Civil, l'Histoire, l'Archéologie, la Santé ou encore les Sciences Humaines et Sociales. L'objectif de la présente étude est ainsi de comprendre, à travers la prise en compte des grandes phases historiques, la dynamique propre à l'écosystème urbain de Neuchâtel, dans sa diversité et en considérant en particulier l'évolution des sols au cours du dernier millénaire.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le site d'étude : la ville de Neuchâtel et sa périphérie

La ville de Neuchâtel a été choisie comme site d'étude pour plusieurs raisons. Tout d'abord, elle est comparable à la majorité des villes moyennes suisses par de nombreux critères : superficie (18,1 km²), population (33 000 habitants), densité (1826 hab./km² au 31 décembre 2010) ou altitude (à partir de 430 mètres). Neuchâtel est, de plus, riche de mille ans d'histoire marquée par différentes phases bien connues. À cause de sa localisation géographique particulière entre les premiers escarpements du Jura (Chaumont) et le bord du lac de Neuchâtel, elle s'est étendue d'une façon atypique mais révélatrice (FURTER, 1963). Une fois les limites orientales et occidentales de la commune atteintes, il ne restait à disposition pour une extension que la colonisation des pentes et le comblement du lac (STAEHLI *et al.*, 2011).

Une approche historique détaillée de la ville de Neuchâtel s'est révélée indispensable pour expliquer et comprendre les dif-

férentes phases d'extension de la ville ainsi que la formation de ses sols. L'approche méthodologique choisie a donc consisté à définir des sites d'étude reflétant les grandes phases du développement spatial de la cité. Elle a été complétée par l'étude de maquettes retraçant l'histoire de la ville de Neuchâtel, déposées aux Galeries de l'histoire (réalisées par JELMINI, GIRARDBILLE & BOEKHOLT), la consultation des archives de la ville, la collecte et l'étude de documents variés comme des gravures, des cartes, des plans et d'autres documents historiques.

Description du terrain et analyses physico-chimiques des sols

En parallèle aux recherches historiques, une campagne de reconnaissance sur le terrain a été réalisée afin de délimiter des zones homogènes dans chaque site retenu pour la description des sols (sondages à la tarière et étude topographique). Les gestionnaires ou propriétaires publics et privés ont aussi été interrogés afin de s'informer sur d'éventuels travaux antérieurs et les pratiques actuelles d'utilisation des sols.

Sur chaque site, un profil a été décrit selon une démarche pédologique classique mais adaptée au contexte des sols urbains (GOBAT & HAVLICEK, 1996 ; GOBAT, 2007 ; BAIZE & GIRARD, 2009). Quand cela a été possible, les associations végétales et les formes d'humus ont été déterminées selon GALLANDAT *et al.* (2009) et ZANELLA *et al.* (2011). Chaque horizon a été analysé selon les descripteurs usuels que sont la masse volumique apparente, le pH_{cap}, la texture, la perte au feu, la teneur en carbonate de calcium, l'azote et le phosphore totaux (CARTER & GREGORICH, 2007).

Les profils de sol ont été schématisés au moyen du logiciel Adobe Illustrator CS3, avec une signalétique adaptée aux sols urbains (par exemple pour la mise en évidence d'artefacts).

L'HISTOIRE DE NEUCHÂTEL ET DE SES SOLS

Les grandes phases historiques de la ville de Neuchâtel

À l'origine, la région de Neuchâtel est une zone forestière dominée par des chênaies et des hêtraies, selon l'altitude et le type de sol considérés. La proximité du lac se matérialise par des formations liées à la présence de l'eau, comme les roselières ou des forêts riveraines (BEGUIN & THEURILLAT, 1982). Autour de - 5500 avant J.-C., les premières populations du Néolithique s'installent progressivement et durablement autour du lac, notamment grâce aux zones propices à l'enfoncement des pieux pour les constructions « lacustres », maisons en bois sur pilotis. La facilité de circuler en pirogue sur de vastes territoires, des terres favorables aux activités agricoles et pastorales, la chasse, la pêche et la cueillette permettent de fournir l'essentiel de l'alimentation quotidienne (LATENIUM, 2012). Par la suite, les écosystèmes vont beaucoup évoluer (EGLOFF, 1989) et c'est autour de l'an 1000 que la ville de Neuchâtel commence à s'implanter.

XI^{ème} siècle : Neuchâtel, une petite ville fortifiée

Mentionnée dès l'an 1011, Neuchâtel ou *Novum Castellum*¹ évolue rapidement en une petite ville médiévale fortifiée. Le bourg est agrippé au flanc d'un éperon rocheux s'étendant sur à peine 250 mètres de la Tour des Prisons à la Tour de Diesse. Avant la première édification d'un bâtiment, le rocher de Neuchâtel, une pente de calcaire jaune hauterivien exposée plein sud, est très probablement recouvert d'une chênaie buissonnante car les fortes pentes de ce rocher empêchent la formation de sols profonds. Le bourg est protégé sur trois côtés par des défenses naturelles : au nord et à l'est par la rivière Seyon, au sud

par le lac. Le Seyon a un régime torrentiel; il prend sa source au Val-de-Ruz et, après avoir franchi la cluse qui sépare Valangin de Neuchâtel, il s'écoule le long du Vauseyon (Val du Seyon). Il emprunte ensuite l'axe de l'actuelle rue du Seyon, pour se jeter dans le lac à proximité de la Place Pury, élargissant progressivement le delta de son embouchure. Sur la façade ouest, un fossé et une fortification construits par l'Homme permettent de protéger totalement le château, puis la collégiale. La construction de la collégiale s'amorce autour de 1180, au-dessus de quelques habitations regroupées en bourg le long de l'actuelle rue du Château et du plateau du Pommier. La position stratégique de la petite ville en fait une clé importante pour le contrôle péager du trafic des marchandises au carrefour de l'antique Vy d'Etra reliant Orbe (Urba) à Kaiseraugst (Caesar Augusta) et des passages qui mènent du plateau suisse vers la Bourgogne. Mais le Neuchâtel primitif est essentiellement un centre local de perception du fisc royal. L'époque seigneuriale se traduit par une expansion du territoire cultivé et le défrichement de nouvelles terres aux XVI^{ème} et XVII^{ème} siècles. La population de Neuchâtel vit à cette période presque exclusivement d'activités agricoles et, dans une moindre mesure, viticoles. Les céréales constituent la part importante de la production et deviennent la base de l'alimentation après transformation (pain ou bouillie). En complément, la pêche occupe au Moyen Âge une place importante, aussi bien pour l'alimentation que pour le commerce (LATENIUM, 2012).

XIII^{ème} siècle : le quartier des Moulins est créé

En 1214, par l'octroi d'un acte de franchise, les Seigneurs de Neuchâtel concèdent à la ville une relative autonomie politique et financière. C'est alors que se constitue la Bourgeoisie de Neuchâtel, dont la prospérité économique va s'accroître rapidement

1: *Novum*, du latin : récent, et *castellum*, château, diminutif du latin *castrum*, lieu fortifié.

suite à la levée du droit de mainmorte qui offre désormais aux habitants l'opportunité de léguer leurs biens à leurs descendants, transaction impossible jusqu'alors. Neuchâtel passe ainsi d'une petite ville autarcique à une cité commerçante dont le marché devient un centre économique régional. L'attractivité du lieu et ses avantages fiscaux provoquent une forte immigration depuis les campagnes et il faut, très vite (1220-1250), construire le nouveau quartier des Moulins pour accueillir les nombreux artisans, agriculteurs et commerçants qui viennent s'établir à Neuchâtel entre la colline du château et le Seyon. On observe alors une certaine densification des surfaces cultivées : prés, vignes et jardins potagers (LATENIUM, 2012).

XIV^{ème} siècle : la ville a franchi le Seyon

Au XIII^{ème} siècle encore, la ville continue de s'étendre en franchissant le Seyon. Le quartier du Neubourg (nouveau bourg) se crée entre 1250 et 1300 sur une partie des alluvions de la rive gauche du Seyon (fig. 1) et sur les premiers contreforts de la montagne de Chaumont. Un rempart avec des tours et une muraille sont édifiés le long des Terreaux (fossés) et remplacent les défenses naturelles de la rivière. Le château et la collégiale de Neuchâtel occupent, à cette période, un tiers de la surface de la ville (LATENIUM, 2012). En 1450, un grand incendie parti de la rue de l'Hôpital ravage la presque totalité de la ville (STAEHLI *et al.* 2011). Les gravats et déchets sont si abondants qu'ils permettent à la ville d'accroître son emprise sur le lac de près de 150 mètres, essentiellement aux abords du delta du Seyon. C'est le vrai début de l'avancée des terres sur le lac voulue par l'homme, avec notamment la création progressive de l'actuel Faubourg du Lac. Après l'incendie, la ville se reconstruit peu à peu. La demande en bois est telle qu'elle exerce une pression importante sur la forêt périurbaine. Les chênaies à charme et les hêtraies thermophiles

(BEGUIN & THEURILLAT, 1982) qui occupaient probablement les hauts actuels de la ville jusqu'au tracé de la Vy d'Etraz (Parcs – Sablons – Fahys) sont défrichées pour les besoins de la reconstruction et font place à de vastes surfaces viticoles, dont l'exploitation va devenir une des activités les plus lucratives de la cité. Le vin de Neuchâtel se répand alors principalement vers la Suisse alémanique, à Soleure en particulier.

XVII^{ème} et XVIII^{ème} siècles : la vigne est peu à peu rattrapée par le développement de la ville

Aux XVII^{ème} et XVIII^{ème} siècles, du fait de sa position stratégique dans le bassin du Rhin, Neuchâtel développe son commerce avec l'Europe et le monde entier. Les revenus de cette activité génèrent l'enrichissement de certaines familles et provoquent une extension de la ville vers l'est, le long de la route de Saint-Blaise où s'édifient de beaux hôtels particuliers empiétant sur les vignes. Les domaines des Rochettes, puis l'hôtel particulier de M. DuPeyrou (1764-1771), entourés de jardins luxuriants, en sont les témoins encore vivants. C'est l'époque aussi où le romantisme naissant propose un changement radical du regard porté sur la nature. Le plan de Jean-Jacques BERTHOUD (1769) (dans JELMINI, 1994) offre une vision de Neuchâtel à cette époque (fig. 2). Des avancées sur le lac à l'est de l'embouchure du Seyon ont lieu grâce aux dépôts successifs de cette rivière, favorisés par les vents dominants du sud-ouest (FORNACHON, 1891 ; FURTER, 1963).

À cette même période, la demande en matières premières est importante pour la construction (bois, blocs de pierre et peu à peu asphalte), le chauffage (bois et charbon) et l'alimentation (viande, lait et céréales). Les écosystèmes alentours sont encore très exploités malgré leur faible productivité en cette période de petit âge glaciaire. Des approvisionnements extérieurs en denrées alimentaires (blé et autres

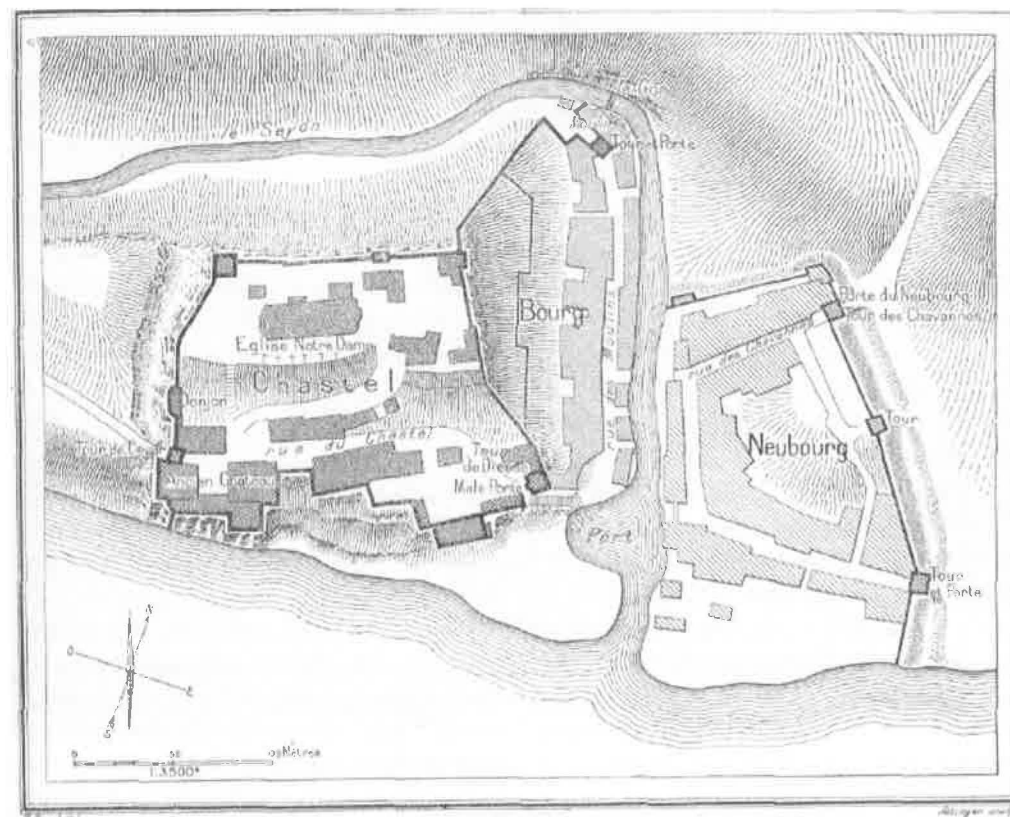


Figure 1 : Plan de Neuchâtel en 1353 (QUARTIER-LA TENTE, 1897).

céréales) provenant du sud du lac, de la Bresse ou encore de la Beauce sont nécessaires. Les marchandises sont stockées dans d'immenses greniers implantés le long des anciens fossés, rue des Terreaux.

L'héritage colossal de David de Pury, qui meurt à Lisbonne en 1786 et lègue son immense fortune à la bourgeoisie de Neuchâtel, permet simultanément un développement urbain considérable. Après un nouvel hôpital, inauguré en 1783, un hôtel de ville est construit en 1790, déplaçant le centre de gravité de la ville vers l'est. De plus en plus, la vigne cède le pas à des constructions, occupées par des nouveaux habitants contribuant à l'économie de la ville par leur travail et l'impôt.

XIX^{ème} siècle : la ville change totalement de configuration

Suite à la succession des crues dévastatrices de 1589, 1750 et 1779, le Seyon est détourné en 1843, ce qui permet la création d'un axe majeur de circulation intérieure : la rue du Seyon. Le développement de l'activité économique et l'arrivée du chemin de fer autour de 1860 engendrent une occupation urbaine de plus en plus dense sur le haut de la ville, sans toutefois atteindre encore les limites de la forêt. Des villas cossues puis des quartiers populaires s'établissent à la hauteur de l'axe ferroviaire, créant en fait une sorte de seconde moitié de ville : la ville haute. L'activité ferroviaire va dimi-



Figure 2 : Plan de la ville de Neuchâtel en 1769 (J.-J. BERTHOUD in JELMINI, 1994).

nuer la pression sur les écosystèmes locaux avec notamment l'apport extérieur de marchandises comme le charbon, limitant ainsi le prélèvement de bois de chauffage dans la forêt périurbaine. À cette époque, la vigne exerce encore une forte emprise sur le territoire mais sa surface se réduit peu à peu.

Avec l'ajout de divers décombres d'origines multiples, la Grande promenade créée par DuPeyrou vers 1770 se transforme en un vaste espace végétalisé, nommé Jardin Anglais dès 1865. À la fin du XIX^{ème} siècle, la première Correction des eaux du Jura (1868 à 1878), visant à réduire les dégâts provoqués par les fluctuations brusques du niveau du lac, abaisse les lacs de Neuchâtel, Morat et Bienne de 2,70 mètres en moyenne. Ces travaux font émerger de grandes sur-

faces asséchées qui permettent à la ville de gagner à nouveau du terrain sur le lac : c'est la création du quartier des Beaux-Arts sur une surface d'environ 31 hectares (fig. 3). Les remblais sont principalement constitués de blocs de calcaire hauterivien arrachés à la colline du Crêt-Taconnet (1876 à 1880) dont l'indispensable extension de la gare avait exigé l'arasement (JELMINI, 2010).

Le XX^{ème} siècle : le tissu urbain se densifie fortement

Depuis le milieu du XX^{ème} siècle, la population neuchâteloise a presque quintuplé, passant de 7 901 habitants en 1850 à 37 784 habitants en 1970. La vigne a quasiment disparu de la ville de Neuchâtel, excepté dans certaines zones comme à la Grande Rochette ou à La Coudre. Dans les

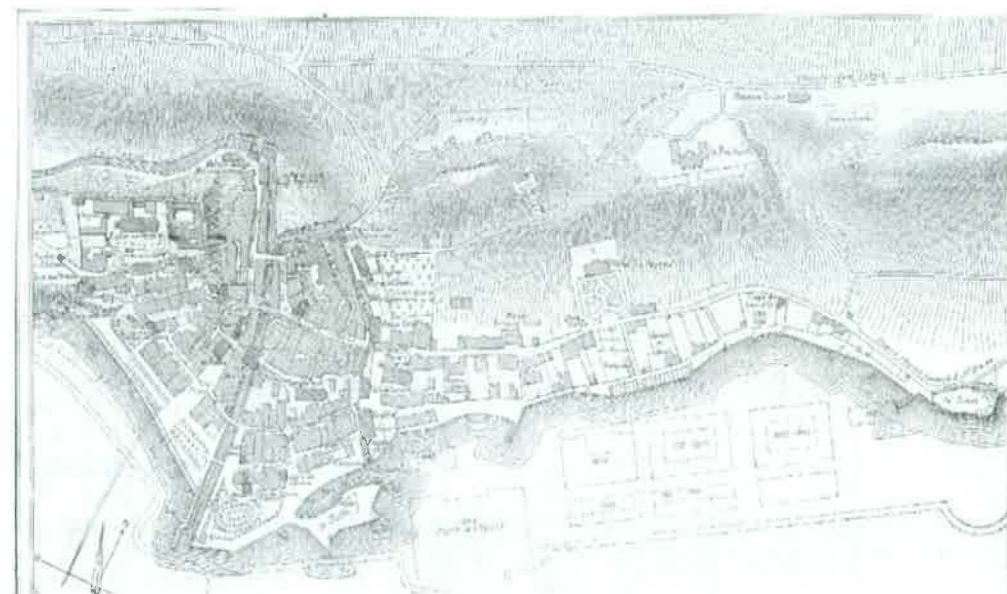


Figure 3 : Plan du quartier des Beaux-Arts (QUARTIER-LA TENTE, 1897).

années 1950, suite à la nécessité de créer de nouvelles infrastructures publiques (zone portuaire, zones de détente, station d'épuration) et privées (industries), la ville s'est développée une nouvelle fois sur le lac lors de la deuxième Correction des eaux du Jura. Entre mai 1960 et mai 1970, l'apport massif de résidus de chantiers autoroutiers (déchets de construction de l'A5), de terre végétale, de compost et de décombres variés a permis la création des Jeunes Rives sur une surface de 14,6 hectares. La carte et le tableau ci-dessous (fig. 4 et tab. 1) résument l'extension réalisée pour la création des Jeunes Rives ainsi que les périodes de remblayage précédentes entre le XIV^{ème} siècle et 1970.

Aujourd'hui, la ville a quasiment atteint sa limite de développement horizontal sur les écosystèmes voisins formant des barrières naturelles mais aussi en raison du renforcement de la protection légale des forêts, des marais et des lacs. L'extension urbaine commence ainsi à se faire pour la première fois dans une dimension verticale, comme

en témoigne le bâtiment récent de l'Office fédéral de la statistique.

Les sites retenus et leurs sols

Suite à l'étude historique du développement la ville de Neuchâtel, huit sites clés marquant les différentes phases de développement de la ville ont été retenus pour l'étude pédologique. Ils sont détaillés ci-dessous suivant un axe temporel – du plus vieux vers le plus jeune – afin de percevoir l'évolution des écosystèmes et des sols. L'ensemble des profils et des analyses de sol est détaillé sur la figure 5 et dans le tableau 2.

Dans la forêt du Plan, un sol du Néolithique?

Servant ici de repère naturel, la forêt du Plan est une forêt urbaine se situant au nord de la ville de Neuchâtel. Elle représente bien l'écosystème forestier dans le sens où elle constitue une relique forestière ayant été peu affectée par l'homme. Ses fonctions

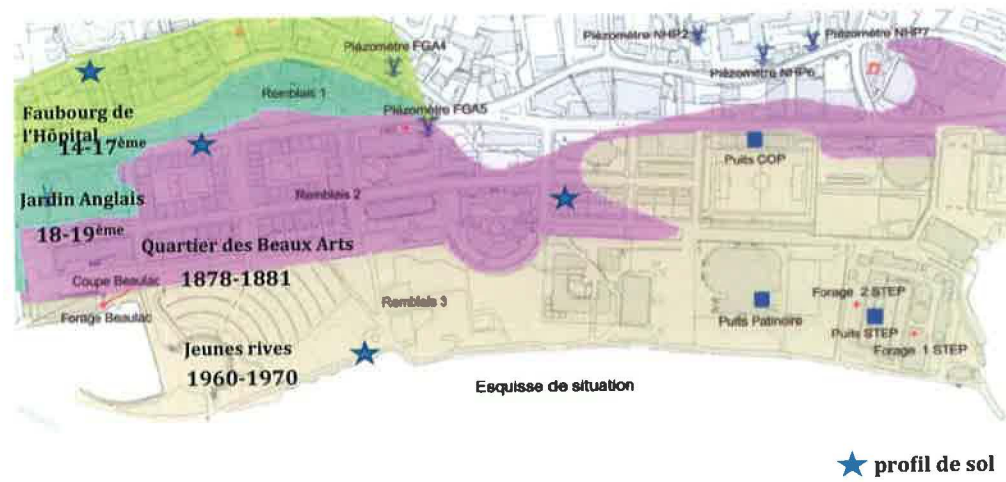


Figure 4 : Carte des différentes périodes de remblayage (SERVICES INDUSTRIELS DE LA VILLE DE NEUCHÂTEL, 2002, STAHLI *et al.*, 2011).

Lieu	Origine des matériaux	Période	Surface [ha]	Volume [m ³]
Jardin Anglais (et plus généralement le long des rives)	Alluvions (Seyon et Areuse)	...-1821	~ 35	
Beaux-Arts	Crêt-Taconnet	1875-1881	~ 31	~ 218'000
Divers	Variable	1915-1950	~ 5	
Jeunes Rives	Tunnels autoroutiers, décombres variés	1960-1970	14.6	842'891 + 953'000

Tableau 1 : Bilan des différentes phases de remblayages effectués sur le lac de Neuchâtel (STAHLI *et al.*, 2011).

actuelles sont récréatives, esthétiques et de préservation de la biodiversité, avant d'être productives. Ses nombreuses associations végétales offrent une mosaïque de milieux profitant à la faune et à la flore. La chênaie buissonnante y reste cependant majoritaire et peut faire penser au type de forêt existant au Néolithique (EMERY, 1993). Le sol est un bon témoin de ce vestige préservé de la forêt naturelle : décarbonaté, il présente une teneur en matière organique élevée sur l'ensemble du profil. La décarbonatation est un processus pédogénétique bien connu qui s'opère durant des millénaires, illustrant

en cela le caractère ancien de ce sol. L'absence d'artefact montre la faible influence de l'homme sur ce sol qui peut être qualifié de *sol urbain naturel*, de type CALCISOL lithique.

Au Jardin du Prince, un sol probablement conservé depuis le Moyen Âge (XIII^{ème} siècle)

Le parc du Jardin du Prince est situé à l'ouest de la collégiale de Neuchâtel. Exposé au sud de la colline du château, avec une pente moyenne, cet endroit était

Site	Âge (année)	Surface (hectares)	Occupation du sol	Coordonnées suisses	Horizon	Profondeur (cm)	pH H ₂ O	Texture	Perte au feu (%)	Ntot (%)	Ptot (%)	Corg calculé ¹ (%)	CaCO ₃ (%)
Forêt du Plan	> 1 000 ans	>50	chênenaie buissonnante	X: 572.227 Y: 230.425	Aci	0-5	7.4	ARGILEUX	16.5	0.56	0.74	7.6	0.3
					AcisCi	5-16	7.4	ARGILEUX	14.0	0.47	0.67	5.9	0.3
					DaSci	16-40	7.4	ARGILEUX	10.5	0.35	0.20	4.4	0.7
Jardin du Prince	XII ^{ème} siècle	0.6	pelouse	X: 560.875 Y: 204.623	Aca	0-20	8.1	LIMONO-SABLEUX	6.7	0.26	2.22	3.0	45.3
					AzcaSzca	20-50	8.1	LIMONO-SABLEUX	5.2	0.17	1.95	2.3	41.4
					Szca	50-70	8.3	LIMONO-SABLEUX	2.7	0.05	1.10	0.5	44.2
Les Grandes Rochettes ²	XVI ^{ème} siècle	0.2	vignes	X: 561.066 Y: 204.753	Aca	0-8	8.0	LIMONEUX FIN	8.8	0.38	1.83	4.0	28.8
					AzcaSzca	8-20	8.2	LIMONEUX-SABLEUX	4.5	0.20	1.87	2.1	33.8
					Szca	20-65	8.4	LIMONO-SABLEUX	3.6	0.13	1.33	1.4	36.6
Hôtel DuPeyrou	1768	0.28	pelouse	X: 561.592 Y: 204.845	Aca	0-13	7.8	ARGILEUX-SABLEUX	8.4	0.36	1.65	3.6	23.6
					AzcaSzca	13-37	8.2	LIMONEUX	3.2	0.10	1.57	0.8	21
					Szca	37-61	8.1	LIMONO-ARGILEUX-SABLEUX	5.1	0.20	1.63	1.7	26.7
Jardin Anglais	1865	9	pelouse	X: 561.756 Y: 204.840	LtpAzca	0-10	7.8	LIMONEUX	7.7	0.32	1.64	3.7	24.2
					LtpAzcaSzca	10-27	8.1	LIMONO-SABLEUX	5.9	0.22	0.94	2.1	30.5
					IIDzca	27-45	8.3	LIMONEUX	3.8	0.10	0.60	1.4	21.4
Église Rouge	1906	0.5	pelouse	X: 562.169 Y: 204.944	LtpAzca	0-8	7.9	LIMONEUX	11.0	0.48	0.87	6.0	15
					LtpAzcaSzca	8-21	8.1	LIMONO-SABLEUX	6.4	0.25	0.71	3.2	20.3
					IIDzca	21-42	8.3	LIMONO-SABLEUX	4.5	0.13	0.77	1.2	25.9
Jeunes Rives	1970	31	pelouse	X: 562.025 Y: 204.679	LtpAzcah	0-8	7.5	LIMONEUX FIN	17.4	0.88	17.30	9.2	15.2
					LtpAzcahig	8-30	7.7	LIMONEUX	18.0	0.84	24.77	9.0	14.4
					II Ztc	30-45	8.3	LIMONO-SABLEUX	3.3	0.11	3.48	2.9	51.5
Rives de Hauteville	1995	6.7	prairie	X: 559.195 Y: 205.681	Aca1	0-8	7.7	LIMONEUX	13.9	0.75	1.54	8.0	34.6
					Azca2	8-21	7.8	LIMONO-SABLEUX	10.6	0.61	1.76	6.0	40.7
					IIDca	21-40	8.4	LIMONEUX	2.9	0.10	0.46	1.9	52.7

Tableau 2 : Analyses physico-chimiques des huit profils de sols retenus.

1 Le Corg est obtenu en soustrayant le Cmin du Ctot.
2 Les analyses physico-chimiques de ce profil ont été faites sur des échantillons pris dans une fosse, semblable, adjacente à celle décrite dans la figure 5.

utilisé par la viticulture entre le XIII^{ème} et le XVIII^{ème} siècle. Parsemé d'érables planes et sycomores, de marronniers d'Inde et de tilleuls, il est devenu depuis un espace de verdure pour le plus grand bonheur des passants. Bien que la litière au sol soit améliorante (feuilles d'érables, de tilleuls et de graminées), l'activité biologique de surface semble moyenne, révélée par la présence d'un horizon OLn épais et d'un horizon OF discontinu caractéristiques d'une forme d'humus de type dys(terro)mull. Le sol est stratifié de manière naturelle, avec des couches typiques comme un horizon organo-minéral A surmontant un horizon structural S. Les fragments de charbon de bois, les pièces de métal, les bouts de poterie et de verre retrouvés en faibles quantités dans les horizons 2 (AzcaSzca) et 3 (Szca) montrent l'influence de l'homme sur ce sol, peut-être en relation avec les cinq siècles d'exploitation de la vigne. Cependant, les résultats des analyses physico-chimiques (texture, teneur en carbonates et en matière organique) confirment le caractère « naturel » du sol, qui peut être nommé CALCOSOL-ANTHROPOSOL TRANSFORMÉ mélangé, nivelé et à artefacts.

La Grande Rochette, les dernières vignes du XVI^{ème} siècle en ville!

Les vignes reliques de la Grande Rochette sont exposées au sud et maintenues par des terrasses. La litière est constituée de feuilles de vigne, de morceaux de sarments, d'herbacées fraîchement coupées et en partie exportées. La forme d'humus décrite en prenant en compte ce biais lié à l'exportation de litière est un oligo(terro)mull. L'activité biologique de surface est bonne avec la présence d'un horizon A biomacrostructuré. Comme pour le sol du Jardin du Prince, les horizons A et S sont bien reconnaissables. Des charbons de bois, des morceaux de briques et de porcelaine retrouvés en faibles quantités sur l'ensemble du profil montrent une nouvelle fois une influence modérée de

l'homme, mais sur plus de 50 cm de profondeur. Ce sol urbain est un CALCOSOL-ANTHROPOSOL TRANSFORMÉ mélangé, nivelé et à artefacts.

L'Hôtel DuPeyrou et son jardin, un ensemble marquant le début du romantisme (fin du XVIII^{ème} siècle)

Le jardin de l'Hôtel DuPeyrou est l'un des plus anciens de la ville de Neuchâtel. Malgré son évolution peu connue à travers les siècles, il est resté localisé au sud de l'hôtel jusqu'à nos jours. Il est actuellement divisé en 8 parcelles de pelouse entourées de buissons et d'arbres très entretenus. La litière est quasi inexistante en raison de l'exportation régulière par la tonte. Bien que difficilement reconnaissables suite à l'humidité permanente du sol (arrosage), les horizons restent similaires à ceux des sols naturels, excepté la présence, à nouveau, d'artefacts pouvant dater de l'époque de création du jardin (par exemple un ancien verre retrouvé à 50 cm de profondeur). Ce sol est ainsi resté en place au cours des siècles malgré son remaniement par l'homme. Il est qualifié de CALCOSOL-ANTHROPOSOL TRANSFORMÉ mélangé, nivelé et à artefacts.

Le Jardin Anglais, un exemple de remblayage sur le lac

Connue aujourd'hui sous le nom de Jardin Anglais, la Grande Promenade fut créée en 1813 (JELMINI, 2010). Le site s'étendait à l'époque sur une surface de 35 hectares entre le port et l'ancienne colline du Crêt (GIRARDBILLE, *comm. pers.*). Aujourd'hui, il se limite à une surface de neuf hectares suite aux nouvelles constructions réalisées à l'est de l'ancienne ville. En 1865, il accueillait un parc animalier, puis il est devenu un espace esthétique et de détente. La partie sud du jardin est une pelouse très entretenue avec de nombreuses plantations de fleurs et d'autres créations artistiques. La partie nord, de l'autre côté de l'allée prin-

cipale, est une parcelle moins entretenue, ombragée par de vieux arbres, des tilleuls essentiellement. Le profil de sol a été réalisé dans cette zone n'ayant pas été récemment perturbée. Les litières OLv et OLn sont peu fournies à cause de l'exportation régulière de la matière organique par la tonte. Ce biais nous conduit une nouvelle fois à un oligo(terro)mull malgré une activité biologique moyenne marquée par un horizon A faiblement agrégé et de juxtaposition. Les horizons révèlent les différents apports successifs de matériaux (Ltp). Ceux-ci sont confirmés par des différences de texture (succession verticale : limoneux, limonosableux et limoneux) et de teneur en carbonates (respectivement 24, 30 et 21%). La proportion d'artefacts (verre, brique, mortier et ossements) retrouvés dans les horizons est légèrement supérieure à celle retrouvée dans les sols plus âgés. La présence d'éléments grossiers cristallins ou carbonatés arrondis, essentiellement dans le premier et le deuxième horizon, illustre de possibles apports par l'homme de matériaux alluvionnaires du Seyon ou de la moraine alpine entourant la ville. Le sol est un ANTHROPOSOL RECONSTITUÉ carbonaté, nivelé, polyphasé à matériaux terreux et à artefacts.

L'Eglise Rouge (1906), un bâtiment construit sur les remblais de la première Correction des eaux du Jura

Suite à la première Correction des eaux du Jura à la fin du XIX^{ème} siècle, le quartier des Beaux-arts fut construit au sud du Jardin Anglais. De nombreux bâtiments virent alors le jour et notamment l'Eglise Rouge érigée en 1906. Ce monument a été par la suite mis en valeur par l'ajout de matériaux terreux et minéraux afin d'y installer une végétation constituée de quelques d'arbres (essences indigènes et exotiques) et d'une pelouse. La surface étudiée est plane avec un entretien assez intensif lié à la tonte régulière et à l'exportation de la matière

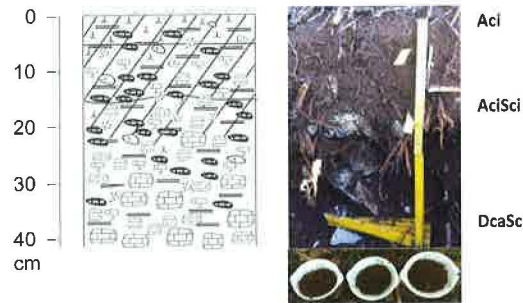
organique. Le sol est compacté en surface par le passage répété des engins pour la tonte. Les horizons ont des limites nettes marquées par des apports successifs de matériaux (terre, sable, blocs de calcaire) avec une teneur en artefacts croissant en fonction de la profondeur (verre, brique, mortier, ferraille, ossements et goudron). La majorité des artefacts retrouvés sont liés à la construction de l'église ou proviennent d'une ancienne décharge d'ordures ménagères non loin de cette zone (GIRARDBILLE, *comm. pers.*). Dès le deuxième horizon, des éléments grossiers subanguleux comme des pierres et des blocs calcaires provenant du Crêt Tacconnet, mélangés à des artefacts et de la terre végétale, traduisent un mélange important de matériaux sans réelle cohérence. Le sol est à nouveau un ANTHROPOSOL RECONSTITUÉ carbonaté, nivelé, polyphasé à matériaux terreux et à artefacts.

Les Jeunes Rives (1970), un espace de détente construit sur les remblais de la deuxième Correction des eaux du Jura

La zone de détente des Jeunes Rives a été créée suite à de nouvelles opérations de remblayage entre 1960 et 1970, lors de la deuxième Correction des eaux du Jura. Le site choisi est situé dans une pelouse en bordure de résineux (séquoias) et de feuillus (peupliers). En raison de ces arbres, l'influence de la litière est cette fois-ci plus importante, avec la présence d'un horizon OLn et d'un OLv discontinu, malgré le passage régulier des tondeuses et l'exportation de la matière organique. La forme d'humus peut être qualifiée d'eu(terro)mull grâce à la présence d'un horizon A biomacrostructuré épais de 8 cm. La litière reste cependant peu améliorante à cause de l'apport majoritaire par les résineux. Les couches de sol sont nettement visibles, avec la succession suivante : matériaux terreux et technologique holorganique (H1 : LtpAcah, compost), voire rédoxique (H2 : LtpAzcahg) et un mélange tassé de matériau technologique,

Forêt du Plan (relique)

CALCISOL lithique



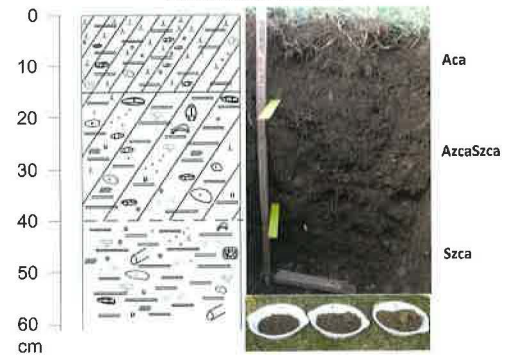
Jardin du Prince (XIIIème siècle)

CALCOSOL-ANTHROSOL TRANSFORMÉ mélangé, nivelé et à artefacts



Grande Rochette (XVIème siècle)

CALCOSOL - ANTHROSOL TRANSFORMÉ mélangé, nivelé et à artefacts



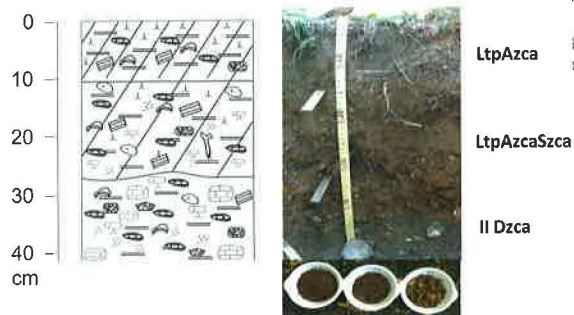
Hôtel DuPeyrou (1768)

CALCOSOL - ANTHROSOL TRANSFORMÉ mélangé, nivelé et à artefacts



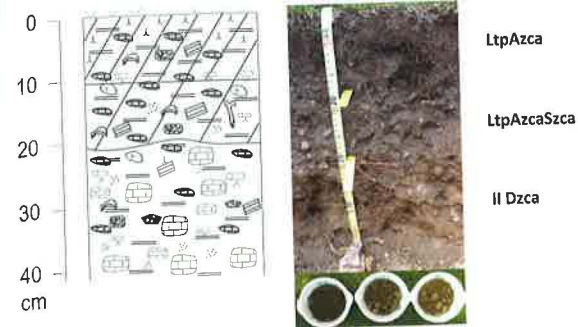
Jardin Anglais (1865)

ANTHROSOL RECONSTITUÉ carbonaté, nivelé, polyphasé, à matériau terreux et à artefacts



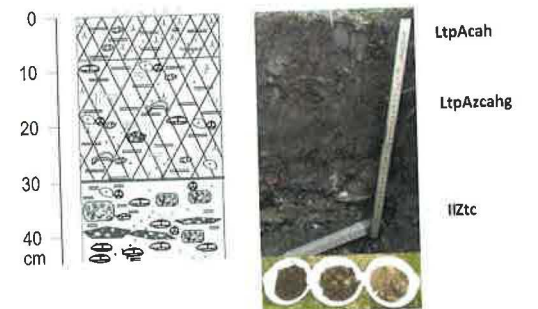
Église Rouge (1906)

ANTHROSOL RECONSTITUÉ carbonaté, nivelé, polyphasé, à matériau terreux et à artefacts



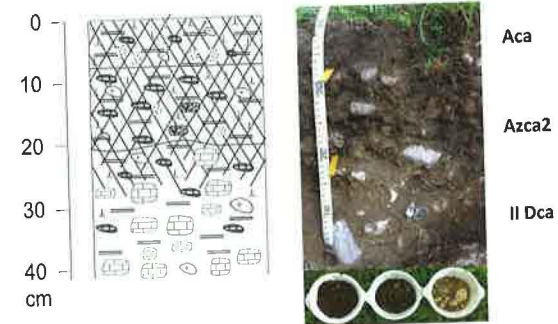
Jeunes Rives (1970)

ANTHROSOL RECONSTITUÉ carbonaté, compacté, rédoxique, nivelé, polyphasé, à matériaux terreux et technologique



Sols artificiels de Hauterive (1995)

ANTHROSOL ARTIFICIEL carbonaté, nivelé, polyphasé, à matériau technologique



Légende

- | | | | | | |
|------|---|-------|-------------------------|---|-----------------------------------|
| == | Sables carbonatés | /// | Horizon organominéral | ▨ | Tuile |
| === | Limons carbonatés | ~~~~ | Litière fraîche (OLn) | ⊠ | Reste de matériel de construction |
| ==== | Argiles carbonatées | ~~~~~ | Litière vieille (OLv) | ⊠ | Morceau de goudron |
| ⊕ | Squelette cristallin (taille > gravier) | ⋈ | Racine fine | ⊠ | Bout de verre ou de poterie |
| ⊖ | Squelette calcaire (taille > gravier) | ⋈ | Racine moyenne | ⊠ | Os d'origine animale |
| ⊖ | Squelette calcaire en altération | ⋈ | Racine grosse | ⊠ | |
| ⊖ | Gravier (calcaire, cristallin ou mixte) | ⊖ | Coquille de Gastéropode | ⊠ | |
| ■ | Charbon de bois | ⊠ | Trace d'oxydo-réduction | | |

Figure 5 : Schémas et photos des profils de sol (nomenclature selon BAIZE & GIRARD, 2009).

de pierres et blocs cristallins et carbonatés arrondis, subanguleux à anguleux (IIZtc). Cette succession d'horizons rapportés est confirmée par les analyses : perte au feu (séquence verticale : 17, 18 et 3%), phosphore (17, 24 et 3%), teneur en carbonates (15, 14 et 51%) et azote total (0,9, 0,8 et 0,1%). Des fragments de charbon de bois, des bouts de verre ou de plastique, des morceaux de brique et de goudron ont été observés dans l'horizon 2 (LtpAcahg). L'horizon 3 (IIZtc) contient quant à lui quelques morceaux de goudron et une part importante (environ 20%) d'autres matériaux de construction mélangés (mortier et brique), de tailles variées. Ce sol, à vocation de support pour la végétation, est peu poreux et assez compact. L'eau circule difficilement, d'où la présence de taches d'hydromorphie dans le second horizon. Le sol est un ANTHROPOSOL RECONSTITUÉ carbonaté, compacté, rédoxique, nivelé, polyphasé, à matériau terreux et technologique.

***Les sols artificiels de Hauterive (1995),
des sols d'origine technologique!***

La dernière avancée majeure sur le lac remonte aux années 1990 sur les communes de Saint-Blaise et de Hauterive. Suite au manque de terre végétale, 150 000 m³ de calcaire issu du chantier de l'autoroute A5 (HOFER, *comm. pers.*) ont été mis en place et recouverts d'apports massifs de compost. Ces sols sont donc totalement artificiels. Malgré leur jeune âge, une première structuration du sol est déjà visible à travers l'apparition d'horizons A. Cette évolution rapide du sol peut s'expliquer par la teneur élevée en matière organique du sol en surface et en profondeur, ainsi que par sa qualité pré-humifiée dans le compost, ce qui permet une activité biologique intense. La forme d'humus le confirme par la présence d'un OLn et d'un OLv discontinu suivi d'un

horizon A épais (> 8 cm) biomacrostructuré, se rapprochant d'un eu(terro)mull. Il est bon aussi d'ajouter que le sol est peu tassé et que sa bonne porosité permet de le maintenir à un niveau d'humidité moyen. Des signes d'altération de la roche dans le dernier horizon et des caractères homogènes entre les horizons mettent en évidence des processus pédogénétiques *in situ*. Creusé dans une prairie maigre peu entretenue, le profil est un ANTHROPOSOL ARTIFICIEL carbonaté, nivelé, polyphasé, à matériaux terreux et technologique.

DISCUSSION

*Les sols, des témoins de la dynamique de
l'écosystème urbain*

L'intégration des observations pédologiques et de l'étude historique nous permet de répartir les sols urbains de Neuchâtel en trois grandes catégories, correspondant aussi à une distribution spatio-temporelle au sein de l'écosystème urbain :

- les sols urbains naturels,
- les sols urbains modifiés mais proches de l'état naturel,
- les sols urbains entièrement formés par l'homme.

Les *sols urbains naturels* sont surtout situés dans la partie nord de la ville, où la forêt est majoritairement restée en place. Ils n'ont pas subi de modifications majeures par le passé et datent probablement du Néolithique, voire d'avant. Peu épais et en pente, ils n'ont pas été exploités directement, même si les chênaies qui les recouvrent encore ont été, par le passé, fortement exploitées pour le bois de feu et utilisées pour la glandée des cochons. L'ancienneté de ces sols est prouvée par la mise en évidence de processus pédogénétiques de long terme comme la décarbonatation et la forte teneur en matière organique sur l'ensemble du profil. Le carbone orga-

nique est d'ailleurs un très bon indicateur de l'ancienneté d'un sol (FIERZ *et al.*, 1995). Classés dans les CALCISOLS ou les CALCOSOLS, souvent lithiques, ces sols entrent dans la catégorie des sols urbains car ils sont retrouvés au sein d'anciennes reliques de forêt isolées en ville, comme la forêt du Plan ou le bois du Foux. Plusieurs auteurs ont également montré la présence de sols quasi naturels dans les villes et notamment les villes récentes (ALEXANDROVSKAYA & PANOVA, 2003; LEHMANN & STAHR, 2007).

S'agissant de la deuxième catégorie, les *sols urbains modifiés mais proches de l'état naturel* sont localisés à l'intérieur ou aux alentours du centre historique de la ville de Neuchâtel. Ils marquent la période s'étalant du Moyen Âge jusqu'à la fin du XVIII^{ème} et au début du XIX^{ème} siècle. Ces sols ont subi pour la plupart des remaniements liés à l'activité viticole ou encore à l'aménagement de jardins. Les horizons typiques des sols naturels restent cependant souvent reconnaissables. De par leur fonctionnement de type naturel, ces sols sont classés dans les CALCOSOLS-ANTHROPOSOLS TRANSFORMÉS nivelés et à artefacts. La présence d'artefacts en faible quantité en surface et en profondeur révèle l'influence de l'homme sur l'ensemble des sols décrits. Les processus pédogénétiques sont néanmoins majoritairement ceux d'un sol naturel en place. Même s'ils restent carbonatés, ces sols montrent quelques changements, comme la différenciation d'un horizon A moins riche en éléments grossiers (STREHLER, 1997). Leur structure grumeleuse est favorisée par l'action de la flore et de la faune du sol, en particulier les lombriciens.

La troisième catégorie regroupe les *sols très fortement transformés ou entièrement formés par l'homme*. De compositions ou d'âges variés, ces sols correspondent aux différentes périodes de remblayage sur le lac de Neuchâtel, du début du XIX^{ème} siècle à la fin du XX^{ème} siècle. Ce sont

des ANTHROPOSOLS RECONSTITUÉS ou des ANTHROPOSOLS ARTIFICIELS nivelés, polyphasés et à artefacts. Ils doivent la majorité de leurs caractéristiques à un développement pédogénétique ayant eu lieu majoritairement *ex situ*, en fonction de l'origine très variée des substrats rapportés et hérités : « terre végétale » rapportée, matériaux de chantiers, etc. Pourtant, certains d'entre eux, comme les sols artificiels des rives de Saint-Blaise et de Hauterive, montrent une évolution *in situ* rapide de leurs horizons de surface, grâce aux apports de compost. En conditions anthropiques, la matière organique peut ainsi évoluer rapidement, probablement plus vite qu'en conditions naturelles (BUREAU, 1995, FIERZ *et al.*, 1995, in STREHLER, 1997). C'est pourquoi les paysagistes utilisent traditionnellement de la « terre végétale » qui correspond à l'horizon de surface, travaillé et enrichi d'anciennes zones agricoles (horizon L) (ROSSIGNOL *et al.*, 2007).

L'abondance, la taille, la forme et la nature des artefacts (goudrons, ferrailles, briques, verre, ossements, porcelaine et plastique) retrouvés dans les différents horizons des sols formés par l'homme permettent de bien dissocier les apports successifs de matériaux. La teneur en matière organique, la texture ou encore la teneur en phosphore total déterminent les discontinuités entre horizons et le caractère jeune des sols. Au bilan, la nature et l'abondance des artefacts retrouvés sur l'ensemble des profils de sol est un bon indicateur de l'âge et du niveau de perturbation des sols (BLUME, 1989; STROGANOVA & AGARKOVA, 1992; BURGHART, 1994; DOBROVOL'SKIY, 1997 in ALEXANDROVSKAYA & PANOVA, 2003). Ces artefacts reflètent bien les trois catégories observées en ville de Neuchâtel, depuis des sols naturels où aucun matériau anthropique n'a été retrouvé, en passant par des sols peu modifiés à faibles teneurs en artefacts, jusqu'aux sols totalement fabriqués qui offrent une grande abondance et une diver-

sité élevée d'artefacts. La nature de certains matériaux anthropiques est aussi une donnée très utile car elle permet de placer les sols sur une échelle temporelle. Quelques exemples peuvent être cités comme le béton inventé à la fin du XVIII^{ème} siècle ou encore le goudron au XX^{ème} siècle, parfois trouvés dans des sols supposés intacts depuis très longtemps.

La figure 6 résume l'évolution des trois catégories fondamentales de sols urbains mises en évidence en ville de Neuchâtel.

La répartition des sols en trois catégories est un premier résultat pertinent dans le contexte pédologique de la ville de Neuchâtel, totalement inconnu jusqu'ici, mais elle ne fait ressortir que partiellement les grandes phases du développement urbain. Les processus pédogénétiques sont tellement longs qu'il est parfois difficile de dissocier un sol du Moyen Âge d'un sol datant du début du XVIII^{ème} siècle. D'autres composantes (p. ex. le degré d'intégration de la matière organique par la faune du sol, l'humidité, la texture, la compaction) agissent plus ou moins sur l'état d'évolution du sol et peuvent induire en erreur. La compréhension de la dynamique d'évolution des sols urbains, et de sa relation avec l'histoire, est souvent difficile car, à l'hétérogénéité naturelle des sols s'ajoute la variabilité des matériaux rapportés, en proportions plus ou moins grandes et de natures très variées.

Ces résultats originaux pour la ville de Neuchâtel le sont aussi en regard de la littérature scientifique qui, jusqu'ici, répartit souvent les sols urbains en deux catégories seulement : (i) les sols qui ont subi un certain degré de perturbation (du Moyen Âge au début du XIX^{ème} siècle puis jusqu'à la fin du XX^{ème} siècle) et (ii), les sols qui n'ont pas subi de modifications majeures par le passé (DUVIGNEAUD, 1984 ; MOREL *et al.*, 2005 ; WRB, 2006 ; GISSOL, 2011 ; HAZELTON & MURPHY, 2011). Nos résultats

montrent que la première de ces deux catégories pourrait à son tour être subdivisée, pour individualiser les sols entièrement formés par l'homme. Cette tendance émerge peu à peu, aussi en raison des connaissances qui se développent à leur sujet.

Le paysage « du dessus », peut-il aider à comprendre le paysage « du dessous » ?

Le paysage et le sol sont étroitement liés. Suite à leurs travaux sur les sols urbains de Moscou, ALEXANDROVSKAYA & PANOVA (2003) ont décrit plusieurs étapes permettant de les associer. Ainsi, ils décrivent les sols à processus pédogénétiques naturels comme appartenant aux forêts. Les sols naturels faiblement transformés sont reliés aux pâtures et aux terres cultivées. Et les sols fortement remblayés sont localisés dans le centre historique de la ville, support des infrastructures et de la végétation. Cette approche peut être appliquée aux sols et aux paysages neuchâtelois où les sols naturels sont majoritairement occupés par des forêts. Très tôt, la limitation de l'extension de l'urbanisation sur ces espaces a permis leur conservation. Les jardins et les vignes reposent sur des sols peu anthropisés et faiblement transformés. Ces types de sols marquent l'avancée progressive de la ville sur la vigne. Ainsi, le sol du Jardin du Prince (XIII^{ème} siècle) est-il comparable au sol de la Grande Rochette (XVIII^{ème}). Les sols remblayés sont quant à eux présents sur les bords du lac de Neuchâtel, jouant le rôle de support des infrastructures et de la végétation de tous types.

Cependant, l'interdépendance entre le paysage et le sol a ses limites car la partie « visible » de l'écosystème est parfois peu en accord avec la partie cachée, en particulier dans l'écosystème urbain. Ces deux composantes ont souvent des dynamiques temporelle et spatiale différentes. Le paysage « du dessus » varie grandement au cours des décennies et ne peut se dévoiler

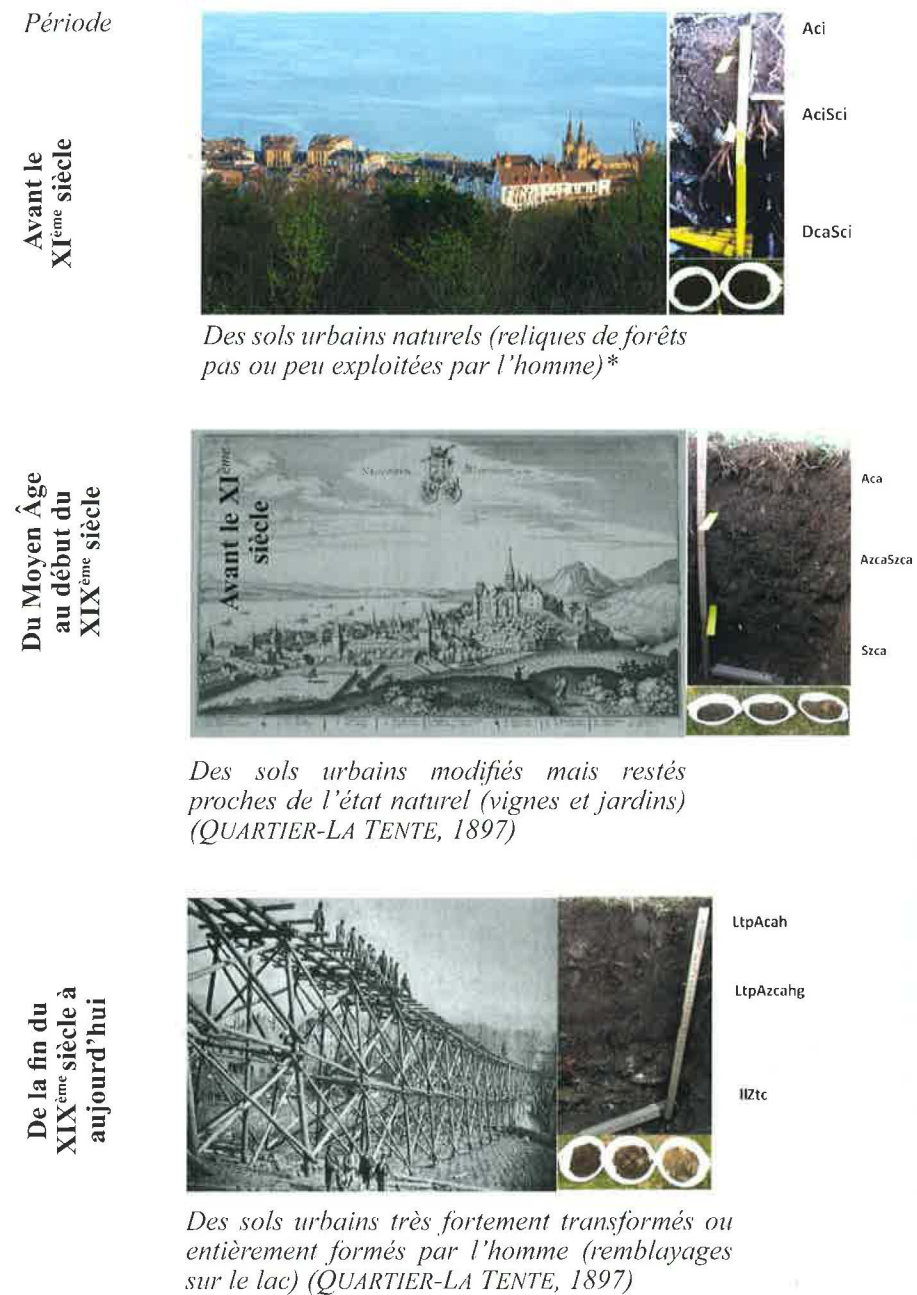


Figure 6 : Évolution des sols de la ville de Neuchâtel au cours du temps.

*http://www.mesimages.ch/images/reportages/portugal_neuchatel/6_chateau_neuchatel_depuis_plan.jpg (consulté le 18 février 2013).

qu'à travers l'étude de différents supports visuels (tableaux, gravures, cartes, etc.), d'ailleurs non dénués de biais liés à l'interprétation de l'artiste. À l'opposé, les sols sont le résultat « cumulé » de toute leur histoire en une sorte d'héritage final de plusieurs événements aux cours des siècles. Il est ainsi parfois difficile de reconstituer les moments clés qui ont déterminé leur formation. Un exemple concret est la partie est de la ville de Neuchâtel, où les sols ont été marqués par une succession de la forêt à la vigne, puis à la ville proprement dite.

Finalement, l'étude du paysage « du dessous » allié au paysage « du dessus » reste plus facilement applicable dans les écosystèmes forestiers, là où la dynamique de la végétation (écosystème mature) est plus en phase avec l'histoire des sols. Il reste plus difficile d'associer un type de paysage à un type de sol en ville ou dans un agrosystème. Ceci s'explique par l'importance des remaniements opérés par l'homme, aussi bien sur le paysage que sur les sols.

CONCLUSION

Encore plus que pour les sols naturels ou agricoles, l'étude des sols urbains nécessite, au préalable, d'importantes recherches sur l'histoire des sociétés, des sites et de leur développement. À travers cette étude, nous avons cherché à définir les grandes phases historiques de développement de la ville de Neuchâtel. L'étude du paysage « du dessus » a permis de bien comprendre ces grandes phases, huit au total. Quant à l'étude du paysage « du dessous », les sols, trois grandes catégories résumant trois différentes grandes périodes historiques ont pu être identifiées. L'étude du paysage vu « du dessus » allié à celle du paysage « du dessous » reste, cependant, très riche d'informations et permet de mieux comprendre la dynamique d'extension de l'écosystème

urbain, notamment celui de la ville de Neuchâtel, sur les écosystèmes annexes. Cette recherche a aussi montré toute la pertinence d'une approche interdisciplinaire peu habituelle, qui voit le pédologue et l'historien s'associer pour comprendre un paysage, ici urbain, dans sa dynamique spatio-temporelle.

REMERCIEMENTS

Nous tenons, tout d'abord, à remercier l'ensemble des propriétaires qui ont mis à disposition leur terrain, ainsi que la ville de Neuchâtel, à travers son Service des parcs et promenades (M. Jean-Marie Boillat, M^{me} Stéphanie Perrochet et M. Alexandre Pache) et son Service des forêts (M. Jan Boni), pour leur aide et leur intérêt pour ce sujet. Un grand merci aux personnes qui nous ont aiguillés sur l'histoire de la ville de Neuchâtel à travers la visite des maquettes (M^{me} Chantal Lafontant-Vallotton) ou de nombreux témoignages et ressources documentaires (M. Olivier Girarbille, archiviste communal). Enfin, nous remercions l'ensemble des personnes qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à la réalisation de cet article. Nous pensons notamment à Alessandro Staehli (collaborateur scientifique) et à Claire-May Blanc, Laura Luiz, Maurane Riesen, Jean Burgermeister et David Pasche (étudiants). Un grand merci aussi à Lidia Mathys-Paganuzzi, Roxane Kohler et Thibault Goetschi pour les analyses des sols. Ce travail s'inscrit dans la thèse en Bioindication des Sols Urbains du premier auteur, financée par l'Office Fédéral de l'Environnement à Berne.

BIBLIOGRAPHIE

Livres et divers

- BAIZE, D., & GIRARD, M.-C., 2009. Référentiel pédologique. 2008. Association française pour l'étude du sol. *Editions Quae, Versailles Cedex*, 405 p.
- BARLES, S., BREYSSE, D., GUILLERME, A., LEYVAL, C. (eds), 1999. Le sol urbain. Paris. *Anthropos* (coll. « Villes »), 278 p.
- CARTER, M.R. & GREGORICH, E.G., 2007. Soil Sampling and Methods of Analysis. *CRC Press, Boca Raton*, 198 p.
- CHEVERRY, C., & GASCUEL, C., 2009. Sous les pavés, la terre. Connaître et gérer les sols urbains. *Omniscience, Montreuil*, 485 p.
- COMBE, A., & RIEDER, J., 2004. Plateau de Bevaix, 1. Pour une première approche archéologique : cadastres anciens et géoréources. *Service et musée cantonal d'archéologie, Neuchâtel*. ISBN 2-940347-26-3, 334 p.
- DORIER-APPRILL, E., *et al.*, 2006. Ville et Environnement. *SEDES, Paris*. ISBN 2718-19468, 511 p.
- DUVIGNEAUD, P., 1984. La synthèse écologique : populations, communautés, écosystèmes, biosphère, noosphère. *Doin, Paris, 2ème édition*, ISBN 2-7040-0351-3, 380 p.
- DUVIGNEAUD, P., & DENAYER-DE-SMET, S., (1977) : l'écosystème URBS. L'écosystème urbain bruxellois. In : DUVIGNEAUD, P., and KESTEMONT, P., (eds.) : Productivité biologique en Belgique. *Duculot, Gembloux*, 1977, 617 p.
- EGLOFF, M., 1989. Des premiers chasseurs au début du christianisme. Première moitié du tome 1 d'Histoire du Pays de Neuchâtel. *Editions Gilles Attinger, Hauterive*, 174 p.
- EMERY, S., 1993. Influence du milieu sur la croissance radiale du chêne rouvre (*Quercus petraea*) dans le Jura Neuchâtois. *Travail de Master, Université de Neuchâtel*, 75 p.
- FRONTIER, S., PICHOD-VIALE, D., LEPRETRE, A., DAVOULT, D., LUCZAK, C., 2008. Ecosystèmes - structure, fonctionnement, évolution. *Dunod, Paris* (4e édition), 558 p.
- GALLANDAT, J.-D., GOBAT, J.-M., CLAVIEN, Y., 2009. Végétation de la Suisse, guide syntaxonomique. *Laboratoire Sol & Végétation, Université de Neuchâtel*, 28 p.
- GISSOL, 2011. Synthèse sur l'état des sols de France. *Groupement d'intérêt scientifique sur les sols*, 24 p.
- GOBAT, J.-M., & HAVLICEK, E., 1996. Clé de sol, principaux sols de Suisse. *Laboratoire Sol & Végétation, Université de Neuchâtel*, 51 p.
- GOBAT, J.-M., 2007. Protocole de description des sols. *Laboratoire Sol & Végétation, Université de Neuchâtel*, 48 p.
- HAZELTON, P. & MURPHY, B., 2011. Understanding Soils in Urban Environments. *CSIRO Publishing*, February 2011, Paperback, ISBN: 9780643091740, 160 p.
- JELMINI, J.-P., 2010. Neuchâtel 1011-2011, mille ans, mille questions, mille et une réponses. *Ville de Neuchâtel, Editions Attinger, Hauterive*, 518 p.
- LATENIUM, 2012. Documentation d'exposition.
- QUARTIER-LA TENTE, E. 1897. Le district de Neuchâtel – Vol. 1. *Attinger Frères Editeurs, Neuchâtel*, 612 p.

- ROSSIGNOL, J-P., DAMAS, O., BENSAOUD, A., MARIE, X., 2007. Les mélanges terre – pierres : Caractéristiques morphologiques et analytiques. *JNES Angers*, 437 p.
- SCHWARTZ, C., 2007. Atelier sur les Anthrosols. *JNES Angers*, 437 p.
- STAEHLI, A., GOBAT, J.-M., MITCHELL, E., 2011. Premier recensement des types de sols urbains de l'agglomération neuchâteloise. Projet ACR-Sol urbain. Rapport final de mandat. *Office Fédéral de l'Environnement – Section Protection des sols, Berne*, 81 p.
- STREHLER, C., 1997. Création et évolution de sols artificiels à base de calcaires et de composts de déchets urbains. *Thèse Université de Neuchâtel, Laboratoire sol et végétation, Neuchâtel*, 134 p.
- WRB, 2006. World reference base for soil resources 2006. *FAO, Rome*, 132 p.

Articles de revues

- ALEXANDROVSKAYA, E., & PANOVA, T., 2003. History of the soil, cultural layer, and people in medieval Moscow. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v.20, num 3, p.289-294.
- BEGUIN, C., & THEURILLAT, J.-P., 1982. La forêt thermophile d'aroles. *Candollea* 37(2): 349-379.
- CARREIRO, M. M., & TRIPLER, C. E., 2005. Forest remnants along urban-rural gradients: Examining their potential for global change research. *Ecosystems* 8: 568–582.
- FIERZ, M., GOBAT, J.-M., GUENAT, C., 1995. Quantification et caractérisation de la matière organique des sols alluviaux au cours de l'évolution de la végétation. *Ann. Sci. For.* 52, 547-559.
- FORNACHON, A., 1891. Plans de la bataille du Seyon contre le vent de l'ouest. *Service des travaux publics de la Ville de Neuchâtel*.
- FURTER, G. 1963. Remblayages des rives du lac à Neuchâtel. *Strasse und Verkehr* 11.
- JELMINI, J.-P., 1994. Neuchâtel. L'esprit, la pierre, l'histoire. *Cahier de l'institut neuchâtelois*, n.s. 25, éditions Gilles Attinger, Hauterive.
- LEHMANN, A., & STAHR, K., 2007. Nature and significance of anthropogenic urban soils. *J. Soils Sediments* 7 (4): 247–260.
- MOREL, J.-L., SCHWARTZ, C., FLORENTIN, L., DE KIMPE, C., 2005. Urban soils. In: *Encyclopedia of Soils in the Environment, Elsevier Ltd*, 202-205.
- TANSLEY, A.G., 1935. The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology*, Vol. 16, No. 3, pp. 284-307.
- ZANELLA, A., JABIOL, B., PONGE, J.-F., SARTORI, G., DE WAAL, R., VAN DELFT, B., GRAEFE, U., COOLS, N., KATZENSTEINER, K., HAGER, H., ENGLISH, M., 2011. A European morpho-functional classification of humus forms. *Geoderma* 164: 138-145.