

## TRAVAUX

### **Réalisation de modèles numériques d'altitude par technologie LIDAR, ainsi que de photographies aériennes couleurs et infrarouges et d'une orthophoto de haute résolution par photogrammétrie sur l'ensemble de la Commune de Lausanne**

*Préavis n° 2011/47*

Lausanne, le 5 octobre 2011

Monsieur le Président, Mesdames et Messieurs,

#### **1. Objet du préavis**

Par le présent préavis, la Municipalité sollicite un crédit d'investissement du patrimoine administratif de 500'000 francs pour permettre l'établissement sur l'ensemble de la commune de Lausanne de modèles numériques d'altitude de hautes précision et fiabilité, à savoir un modèle numérique de terrain (MNT) et un modèle numérique de surface (MNS), basés sur un levé LIDAR (Light Detection And Ranging) ainsi que la réalisation de photographies aériennes couleurs et infrarouges et d'une orthophoto numérique de haute résolution par photogrammétrie (environ 10 cm au sol par pixel) afin d'assurer une acquisition de données altimétriques et photographiques de base dans une seule campagne de détermination de qualité et homogène sur le territoire communal.

#### **2. Préambule**

La première campagne de prises de vues couleurs sur la commune de Lausanne a été effectuée en 1971 et renouvelée approximativement tous les 5 ans selon un plan de vol identique. Ces prises de vues, qui sont disponibles au travers du système Goéland, ont fréquemment été utilisées dans le cadre d'études de plans partiels d'affectation (PPA) ou d'aménagements particuliers.

Votre Conseil a adopté en date du 20 mars 2001 le préavis numéro 195 allouant un montant de 300'000 francs pour la photogrammétrie et à l'orthophoto de la zone urbaine de la Commune. Le modèle numérique de terrain et la première orthophoto de la Ville ont ainsi pu être réalisés par photogrammétrie. Ces géodonnées de base ont servi comme références dans de nombreux projets importants, comme le métro m2.

Lorsque la nature déploie toute sa croissance, le vol infrarouge permet de détecter et de reconnaître l'état de santé réel de la végétation et des arbres d'avenue en particulier. La première campagne de photos infrarouges a eu lieu en juillet 1975 et a été répétée plusieurs fois, la dernière ayant eu lieu en 2006.

Depuis plusieurs années, la télédétection par LIDAR est largement utilisée et permet de réaliser à des coûts raisonnables des modèles numériques d'altitude de hautes précision et fiabilité aussi bien pour le terrain que pour les objets bâtis et la végétation. Aujourd'hui, la Commune de Lausanne ne dispose pas d'une modélisation systématique des bâtiments et autres constructions en trois dimensions. Cependant, aujourd'hui, la représentation en trois dimensions du territoire par modélisation ou animations devient indispensable pour accompagner les réalisations importantes et un outil de plus en plus utilisé pour la planification de l'aménagement urbain.

L'établissement de modèles numériques d'altitude et d'une orthophoto de haute qualité sur la Commune de Lausanne permettra de disposer d'une information de base moderne, précise, fiable et homogène sur l'ensemble du territoire communal et d'éviter des campagnes d'acquisition sectorielles pour les différents projets liés à la réalisation de quartier et d'infrastructures publiques. Globalement, les acquisitions projet par projet seront plus onéreuses qu'une acquisition généralisée sur l'ensemble du territoire communal.

Les domaines d'utilisation prioritaires de ces géodonnées altimétriques et photographiques de haute qualité sont: infrastructures et aménagements urbains, urbanisme, architecture, mensuration officielle, cadastres divers, gestion des risques, cartographie des dangers naturels, caractéristiques géologiques, forêt, agriculture, environnement et énergie.

### **3. Données altimétriques et orthophotos actuellement disponibles sur la Commune de Lausanne**

#### **3.1 Modèles numériques d'altitude**

Actuellement, trois modèles numériques d'altitude existent sur tout ou partie du territoire communal. Il s'agit des données suivantes :

- a) Un modèle numérique de terrain datant de 2001, obtenu par photogrammétrie, couvre la Ville de Lausanne avec une densité de 4 points/m<sup>2</sup>. La précision altimétrique de ce modèle est de  $\pm 30$  cm (erreur moyenne) avec des erreurs individuelles de l'ordre du mètre.
- b) Un modèle numérique de terrain et un modèle numérique de surface ont été établis par technologie LIDAR par la Confédération en 2001-2002 avec une densité approximative d'un point/m<sup>2</sup>. La précision altimétrique de ces modèles est de  $\pm 50$  cm (erreur moyenne) avec des erreurs individuelles de l'ordre de 1.5 mètres. Ces deux modèles, même si leur précision et fiabilité ne sont pas optimaux, constituent des données de base pour de nombreux projets sous forme de données brutes, de produits altimétriques dérivés (courbes de niveaux, ombrages, profils, pentes, rayonnement, visibilité, hauteur de bâtiments, etc.) ou de données intégrées dans des logiciels de simulation (ensoleillement, chutes de blocs, inondations, bruits, etc.).
- c) Une modélisation du terrain sous forme de courbes de niveau et des bâtiments en trois dimensions, obtenue par restitution photogrammétrique, couvre environ le tiers de la Ville de Lausanne. Les informations ont été acquises au fur et à mesure des projets d'envergure sur la Commune pour l'établissement des maquettes principalement. La précision altimétrique de ce modèle est  $\pm 30$  cm (erreur moyenne) avec des erreurs individuelles de l'ordre du mètre.

Ainsi, les modèles numériques d'altitude existants sur la Commune de Lausanne datent de 10 ans environ et ils deviennent difficilement exploitables, en termes d'actualité, de précision et de fiabilité, pour répondre de manière satisfaisante aux besoins des projets d'envergure comme les Axes Forts des Transports Publics Urbains ou Métamorphose.

#### **3.2. Orthophotos**

Plusieurs orthophotos de résolution et d'actualité différentes représentant tout ou partie du territoire communal peuvent être utilisées par les projets d'agglomération ou communaux. Il s'agit des produits suivants :

- a) Orthophoto de 2001 couvrant la zone urbaine du territoire communal avec une résolution de 10 cm au sol par pixel (© Commune de Lausanne) ;
- b) Orthophoto de 2004 couvrant toute l'agglomération lausannoise avec une résolution de 50 cm au sol par pixel (© Office fédéral de topographie) ;
- c) Orthophoto de 2006 couvrant toute l'agglomération lausannoise avec une résolution de 25 cm au sol par pixel (© Office fédéral de topographie) ;
- d) Orthophoto de 2008 couvrant la zone urbaine du territoire communal avec une résolution de 10 cm au sol par pixel (© Commune de Lausanne).

De plus, différentes orthophotos peuvent être visualisées directement sur des sites cartographiques disponibles sur Internet, généralement bien actualisés et avec des résolutions de l'ordre de 25 cm au sol par pixel. Le plan de Ville (city map) de la Commune est basé depuis quelques années sur la solution Google Maps permettant de couvrir la localisation de Lausanne et de sa région sans discontinuité. Toutefois, ces produits ne peuvent pas être utilisés dans le cadre de projets d'agglomération ou communaux en raison des restrictions d'utilisation fixées par les fournisseurs. Il est aussi utile de mentionner que la résolution optimale en milieu urbain est de 10 cm au sol par pixel afin de pouvoir identifier les principaux détails des bâtiments et des objets du mobilier urbain.

## 4. Projet

### 4.1 Réalisation de nouveaux modèles numériques d'altitude par technologie LIDAR sur l'ensemble de la Commune de Lausanne

L'objectif est d'établir un nouveau modèle numérique de terrain (MNT) correspondant à la morphologie du sol sans tenir compte des éléments construits et de la végétation, ainsi qu'un nouveau modèle numérique de surface (MNS) qui lui, au contraire, comprend les éléments construits et la végétation en améliorant la précision altimétrique d'un facteur 3 par rapport aux géodonnées existantes sur la Commune.

Les systèmes LIDAR ou laser aéroportés mesurent la distance entre le sol et l'avion à l'aide d'un télémètre laser. Afin de pouvoir attribuer l'altitude, mesurée par le laser, à une paire de coordonnées précises à la surface du sol, le positionnement absolu du faisceau laser lors de la mesure est déterminé grâce aux informations enregistrées conjointement par un GPS (Global Positioning System) et une centrale inertielle.

Jusqu'à 200'000 impulsions laser sont enregistrées à chaque seconde. Les données sont alors traitées pour produire un fichier de coordonnées (x, y, z, classification, intensité, etc.). Le traitement des mesures et le filtrage des résultats permettent de distinguer une altitude « terrain » (MNT) et une altitude correspondant aux sommets des objets toits, arbres, etc. (MNS). Le système LIDAR permet ainsi d'obtenir une densité très importante de points à moindre coût.

Le produit brut fourni par le système est donc un ensemble de points répartis aléatoirement d'une densité de l'ordre de 5 à 10 pt/m<sup>2</sup>, ce qui représentera environ 1,6 milliards de points. La précision approximative et indicative de données brutes est de 15 cm en altimétrie et 20 cm en planimétrie. Cette précision dépend de la nature de la couverture du sol.

La classification des points bruts en 9 catégories d'occupation du sol permet d'améliorer fortement l'interprétation des modèles d'altitudes et leur fiabilité.



Figure 1 : relevé LIDAR 2010 Ville de Neuchâtel

L'étendue des travaux portera sur un périmètre défini selon la distribution officielle des cartes nationales de l'Office fédéral de topographie : 1223-33, 1223-34, 1223-43, 1243-11, 1243-12, 1243-21, 1243-13, 1243-14, 1243-23, 1243-31, 1243-32, 1243-41, représentant une surface de 15'750 ha. Ce découpage permet de faciliter l'agrégation de nombreuses autres géodonnées cantonales ou fédérales gérées généralement selon cette distribution.

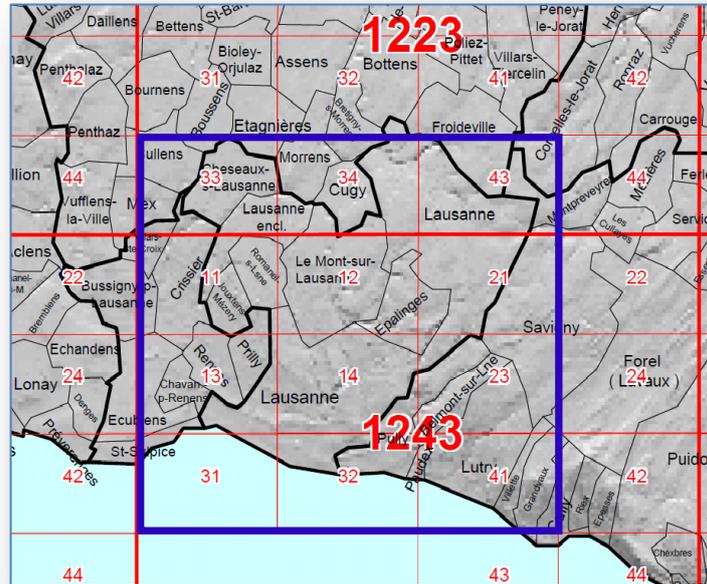


Figure 2 : périmètre du projet

Les caractéristiques techniques générales des produits MNT et MNS sont résumées par le tableau ci-après.

Caractéristiques	Description
Densité moyenne de points	Variante 1 : min 5 pts/m <sup>2</sup> sur l'ensemble du périmètre Variante 2 : min 10 pts/m <sup>2</sup> sur l'ensemble du périmètre
Précision altimétrique	< 0.15m
Classification des points bruts	Les 9 classes ci-après : <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sol (surface perméable)</li> <li>2. Sol (surface non perméable)</li> <li>3. Basse végétation (&lt; 1 m du sol)</li> <li>4. Végétation (&gt; 1 m du sol)</li> <li>5. Bâtiments et couverts</li> <li>6. Lignes aériennes, mâts, antennes diverses, etc.</li> <li>7. Ponts et passerelles</li> <li>8. Grues</li> <li>9. Véhicules (voiture, bus, camion, train, etc.)</li> </ol>
Période de vol	Février - mars 2012 (LIDAR)

Les produits mis à disposition suite au vol LIDAR et gérés par le Service de la coordination et du cadastre dans les cadres de référence suisses MN95/RAN95 (CH1903+) et MN03/NF02 (CH1903) sont les suivants :

- points bruts non filtrés issus du vol (fichier LAS) ;
- modèle numérique de terrain classifié ;
- modèle numérique de terrain selon grilles interpolées ;
- modèle numérique de surface classifiée ;
- modèle numérique de surface selon grilles interpolées.

Grâce à ces données de base, il sera possible d'établir d'autres produits dérivés sectoriels ou sur l'ensemble de la Commune selon les besoins d'études spécifiques et de projets.

#### 4.2. Réalisation de photographies aériennes couleurs et infrarouges, ainsi que d'une orthophoto numérique de haute résolution

L'objectif est de réaliser des photographies aériennes et infrarouges ainsi qu'une orthophoto numérique de 10 cm au sol par pixel sur le même périmètre d'acquisition que les modèles numériques d'altitude. Avec le développement des caméras numériques, les photographies infrarouges sont prises en même temps que les photographies couleurs mais en utilisant simultanément d'autres canaux libres de fréquences différentes de la caméra.

L'orthophoto est le produit qui résulte de l'assemblage des parties des photographies aériennes rectifiées pour supprimer les distorsions dues à la projection centrale des photographies et au relief du terrain. Il s'agit donc finalement d'une photographie corrigée géométriquement de telle façon qu'elle soit superposable à un plan ou à toute autre donnée géoréférencée.

L'orthophoto est un produit qui est fortement utilisé dans les différents processus administratifs de la Commune, par le Corps de police et le Service de la protection et du sauvetage, ainsi que dans les projets les plus divers.

Les caractéristiques techniques générales de l'orthophoto sont résumées par le tableau ci-après.

Caractéristiques	Description
Dimension du pixel au sol	10 cm
Précision planimétrique	± 20 cm (erreur moyenne)
Période de vol	Juillet – août 2012 (photogrammétrie)

Il est possible que dans le courant de l'année 2012, un partenariat entre l'Office fédéral de topographie et des photogrammètres privés aboutisse à la mise à disposition sur le marché d'orthophotos numériques de haute résolution satisfaisant les besoins communaux. Si ce projet se réalise, une appréciation de la situation sera effectuée, le moment venu, pour évaluer les avantages et inconvénients d'attribuer un mandat ou d'acheter des produits photogrammétriques déjà réalisés afin de choisir la solution économiquement la plus avantageuse pour la Commune de Lausanne.

#### 5. Utilité et domaines d'application de ces géodonnées altimétriques de base et de l'orthophoto

A l'heure actuelle, il est de plus en plus difficile de travailler uniquement en deux dimensions dans les projets liés au territoire. La connaissance de la troisième dimension devient donc un atout non négligeable dans la conception des projets et pour la gestion du territoire.

A partir des nuages de points LIDAR, il est possible de générer un grand nombre de produits dérivés représentant le territoire en trois dimensions tels que les modèles numériques de surface (MNS) et de terrain sous différentes formes, les courbes de niveaux, le calcul d'ombres portées, les profils en long et en travers, les pentes et directions d'écoulement, le rayonnement solaire, l'analyse de visibilité (impacts sur le paysage), les bâtiments en 3 dimensions, etc.

Ces produits dérivés sont alors fortement utiles dans un grand nombre de domaines liés à la gestion du territoire et peuvent jouer un rôle significatif d'aide à la décision et de communication dans les projets de construction et d'urbanisme. D'une part, ils vont amener nécessairement un gain de temps dans l'établissement d'avant-projet et une meilleure productivité. En effet, les données recouvriront l'ensemble du territoire lausannois et ses alentours et seront accessibles directement aux utilisateurs au travers de diverses applications métier. D'autre part, on évite de cette manière que l'acquisition de la troisième dimension se fasse partiellement par zones, à des intervalles de temps différents et par des prestataires multiples ayant chacun leurs conditions d'utilisation.

Enfin, la Commune de Lausanne, en tant que propriétaire de ces géodonnées, pourra répondre en partie à ses propres besoins, sans demander systématiquement des prestations éparses et souvent coûteuses à des mandataires externes.

Pour illustrer ces propos, voici quelques exemples d'utilisation de ces données de base LIDAR envisagés au sein des services communaux :

### **Infrastructure et aménagement urbain**

Les données LIDAR permettent d'établir des profils en long et profils en travers du territoire pour la planification des réseaux routiers et Axes Forts de Transports Publics Urbains ainsi que pour déterminer et optimiser des volumes de déblais et de remblais.

### **Urbanisme et architecture**

La Ville de Lausanne étant en pleine métamorphose, les modèles issus des données LIDAR offrent un potentiel important au niveau de la planification urbaine, notamment comme données de base pour :

- l'analyse des ombres portées de nouveaux bâtiments et de l'ensoleillement ;
- l'étude de l'impact visuel de nouvelles infrastructures dans le paysage ;
- l'établissement de maquettes et d'animations en trois dimensions ;
- la détermination du volume habitable ;
- la connaissance de l'évolution du bâti.

### **Mensuration officielle et cadastres divers**

A l'aide des données LIDAR, il est possible de :

- déterminer des courbes de niveaux ;
- déterminer rapidement l'altitude au décimètre en tout lieu ;
- permettre la production des orthophotos ;
- définir la couverture du sol et déterminer certains éléments (chemins en forêt, cours d'eau, limites de la forêt) ;
- déterminer la hauteur des bâtiments et modéliser ces derniers en trois dimensions.

### **Gestion des risques, cartographie des dangers naturels et caractéristiques géologique**

La connaissance du relief est importante pour la cartographie des dangers naturels et pour l'évaluation des risques. Le modèle numérique d'altitude peut notamment être utilisé pour :

- définir les zones inondables ;
- caractériser les zones de glissement de terrain ;
- analyser les pentes à risque et failles diverses ;
- déterminer les failles et périmètres géologiques.

### **Forêt et agriculture**

Grâce à la génération du modèle numérique de hauteur (MNS – MNT), il est possible de déterminer le volume de bois (biomasse) et du taux de boisement. En comparant des données d'années différentes, on peut alors connaître les changements et l'évolution de la forêt.

### **Environnement et énergie**

Les données en trois dimensions peuvent notamment servir à définir les limites d'un bassin versant et à effectuer des simulations de l'écoulement dans les projets d'hydrologie. Elles peuvent permettre également d'évaluer les caractéristiques de la couverture du sol (perméable/imperméables) et le potentiel du bois-énergie ou de l'énergie solaire.

## **6. Collaboration avec l'Etat de Vaud et les Communes de Pully, Paudex et Belmont-sur-Lausanne**

L'Etat de Vaud par son Office de l'information sur le territoire dirige l'établissement et le renouvellement de la Mensuration officielle sur l'ensemble du Canton et adjuge les mandats correspondants. Dans ce contexte, une collaboration scientifique avec l'Etat de Vaud est sollicitée afin que ce projet puisse être considéré comme projet pilote pour le Canton. A ce titre, une demande de participation financière de 30'000.- francs est en cours auprès de l'Office de l'information sur le territoire.

Les Communes de Pully, Paudex et Belmont-sur-Lausanne ont décidé de participer à ce projet en le finançant par leurs budgets sous réserve de l'acceptation par les Conseils communaux respectifs. Les participations desdites Communes seront de l'ordre de 35'000.- francs pour obtenir l'ensemble des produits sur leurs territoires communaux.

## **7. Aspects financiers**

### **7.1 Coût du projet**

Les prix, ci-après, sont fondés sur des offres et des décomptes finaux de réalisations concrètes effectuées dans les Cantons de Genève et de Neuchâtel, ainsi que des prix unitaires de la société Swissphoto AG à Watt (ZH).

<u>Poste</u>	<u>Désignation des travaux, équipements et mandats</u>	<u>Montants TTC</u>
1.	Réalisation de nouveaux modèles numériques d'altitude par technologie laser	110'000 francs
2.	Mandats spécifiques pour la gestion des géodonnées numériques et la réalisation de produits dérivés	100'000 francs
3.	Réalisation de photographies aériennes couleurs ainsi qu'une orthophoto numérique de haute résolution	65'000 francs
4.	Réalisation de photographies aériennes infrarouges	15'000 francs
5.	Equipements spécifiques pour le traitement et la gestion des données brutes laser et des produits dérivés	190'000 francs
6.	Divers et imprévus	<u>20'000 francs</u>
<b>Total</b>		<b>500'000 francs</b>

### **7.2 Recettes escomptées**

Ce projet se déroulera avec une collaboration étroite avec l'Etat de Vaud et les Communes de Pully, Paudex et Belmont-sur-Lausanne. Les recettes suivantes sont prévues sous forme de collaboration scientifique et de ventes de produits.

<u>Poste</u>	<u>Désignation des recettes</u>	<u>Montants TTC</u>
1.	Contribution des Communes de Pully, Paudex et Belmont-sur-Lausanne pour la réalisation des nouveaux modèles numériques d'altitude	30'000 francs
2.	Contribution des Communes de Pully, Paudex et Belmont-sur-Lausanne pour les photographies aériennes couleurs et infrarouges et l'orthophoto numérique de haute résolution	5'000 francs
3.	Contribution de l'Etat de Vaud dans le cadre de la collaboration scientifique	30'000 francs
4.	Ventes diverses de produits	<u>5'000 francs</u>
<b>Total</b>		<b>70'000 francs</b>

### **7.3 Impact sur le personnel**

La réalisation de ce projet se fera sans demande de poste supplémentaire.

### **7.4 Plan des investissements**

Ce projet figure au plan des investissements pour les années 2012 à 2015 pour un montant de 500'000 francs. L'étalement prévu des dépenses est de 250'000 francs en 2012 et le même montant en 2013.

### **7.5 Conséquences sur le budget**

Les charges financières annuelles peuvent être estimées selon la méthode de l'annuité constante avec un taux d'intérêt de 3.25% et une durée d'amortissement de 5 ans à 110'000 francs.

## **8. Conclusions**

Fondée sur ce qui précède, la Municipalité vous prie, Monsieur le Président, Mesdames et Messieurs, de bien vouloir prendre la résolution suivante :

*Le Conseil communal de Lausanne,*

vu le préavis n° 2011/47 de la Municipalité, du 5 octobre 2011 ;  
ouï le rapport de la Commission nommée pour examiner cette affaire;  
considérant que cet objet a été porté à l'ordre du jour,

*décide :*

1. d'allouer à la Municipalité un crédit d'investissement du patrimoine administratif de 500'000 francs pour la réalisation de modèles numériques d'altitude par technologie LIDAR, ainsi que de photographies aériennes couleurs et infrarouges et d'une orthophoto de haute résolution par photogrammétrie sur l'ensemble de la Commune de Lausanne ;
2. d'amortir annuellement le crédit susmentionné à raison de 100'000 francs par la rubrique 4100.331 du Service de la coordination et du cadastre ;
3. de faire figurer sous les rubriques 4100.390 les intérêts relatifs aux dépenses découlant du crédit précité.
4. de porter en amortissement du crédit ci-dessus les participations financières et recettes à recevoir.

Au nom de la Municipalité :

Le syndic :  
Daniel Brélaz

Le secrétaire :  
Christian Zutter