

# **Programme cantonal de développement de la géothermie à Neuchâtel – PDGN**

**Volume 2 :**

**Annexes**

Elaboré par

**Groupe de travail PDGN**

c/o Laboratoire Suisse de Géothermie - CREGE

Août 2010

---

## **Impressum**

---

Date : août 2010

Projet CREGE : PDGN – Programme cantonal de développement de la géothermie à Neuchâtel

No Rapport : CREGE08-10/01

Réalisation : Groupe de travail PDGN

Financement : Service de l'énergie, canton de Neuchâtel

Adresse et coordonnées :

Laboratoire Suisse de Géothermie - CREGE

c/o CHYN

11 rue E.-Argand

CH-2000 Neuchâtel

Tél. +41 (0)32 718 2600

[www.crege.ch](http://www.crege.ch)

Citation :

Groupe de travail PDGN, 2010. Programme cantonal de développement de la géothermie à Neuchâtel (PDGN). Vol. 1 : Rapport final, Vol. 2 : Annexes, CREGE08-10/01, Neuchâtel.

---

## **TABLE DES ANNEXES**

### ***Annexes du chapitre 2 :***

#### **Potentiel des sondes géothermiques verticales (SGV) .....5**

|              |  |
|--------------|--|
| Annexe 2.1 : | Cartes lithologiques simplifiées des localités étudiées ..... 6  |
|              | Vallée de la Brévine..... 7  |
|              | La Chaux-de-Fonds..... 9   |
|              | Littoral Est..... 12   |
|              | Littoral Ouest..... 14   |
|              | Le Locle ..... 20  |
|              | Neuchâtel..... 23  |
|              | Val-de-Ruz..... 28   |
|              | Vallée de la Sagne ..... 37  |
|              | Val-de-Travers ..... 39  |
| Annexe 2.2 : | Carte lithologique simplifiée du canton de Neuchâtel ..... 43  |
| Annexe 2.3 : | Etat de saturation du sous-sol..... 47   |
| Annexe 2.4 : | Carte des températures moyennes annuelles du canton ..... 51   |
| Annexe 2.5 : | Energie annuelle exploitable par SGV et par hectare. Modes 1, 2 et 3 ..... 55  |
| Annexe 2.6 : | Guide d'aide au dimensionnement des ouvrages de petite dimension et<br>procédures d'autorisation dans le canton de Neuchâtel..... 61 |
| Annexe 2.7 : | Stockage de chaleur solaire par sondes verticales et couplage à une pompe<br>à chaleur..... 73                                       |

### ***Annexes du chapitre 3 :***

#### **Potentiel des géostructures énergétiques (GEN) ..... 78**

|              |  |
|--------------|--|
| Annexe 3.1 : | Mesures et optimisation de l'installation avec pieux énergétiques du<br>terminal Dock Midfield de l'aéroport de Zurich. Résumé du rapport final ..... 79 |
| Annexe 3.2 : | Complexe d'habitation sur pieux énergétiques à Delémont.<br>Prospectus de promotion de Compatible SA..... 82   |
| Annexe 3.3 : | Plan spécial – Le Corbusier - Plan d'implantation..... 84  |
| Annexe 3.4 : | Transrun – Plan de situation du tracé entre Neuchâtel et<br>La Chaux-de-Fonds (Transrun et Blant 2009)..... 87   |
| Annexe 3.5 : | Transrun – Profils en long géologiques comparés et zones<br>potentiellement intéressantes pour la géothermie (PGN 2008 et Blant 2009).. 91               |

### ***Annexes du chapitre 4 :***

#### **Potentiel thermique des nappes phréatiques (NAP) .....95**

|              |  |
|--------------|--|
| Annexe 4.1 : | Guide d'aide au dimensionnement des ouvrages de petite dimension et<br>procédures d'autorisation dans le canton de Neuchâtel..... 96 |
| Annexe 4.2 : | Carte du potentiel d'exploitation thermique des nappes phréatiques de faible<br>profondeur dans le canton ..... 107                  |

***Annexes du chapitre 5 :***

**Potentiel des sources et des eaux de surface (SES) ..... 111**

|              |   |     |
|--------------|---|-----|
| Annexe 5.1 : | Caractéristiques des cours d'eau avec leurs débits, températures et potentiels thermiques .....                   | 112 |
| Annexe 5.2 : | Carte du potentiel thermique minimal des eaux de surface en relation avec la demande en énergie de chauffage..... | 115 |
| Annexe 5.3 : | Carte du potentiel frigorifique minimal des eaux de surface en relation avec le volume construit .....            | 119 |

***Annexes du chapitre 7 :***

**Organisation de six séminaires d'une demi-journée ..... 123**

|              |  |     |
|--------------|--|-----|
| Annexe 7.1 : | Séminaires d'information aux professionnels. Invitation .....        | 124 |
| Annexe 7.2 : | Séminaires d'information aux professionnels. Programme détaillé..... | 127 |

---

**ANNEXES CHAPITRE 2 :**  
**POTENTIEL DES SONDES GOETHERMIQUES**  
**VERTICALES (SGV)**

---

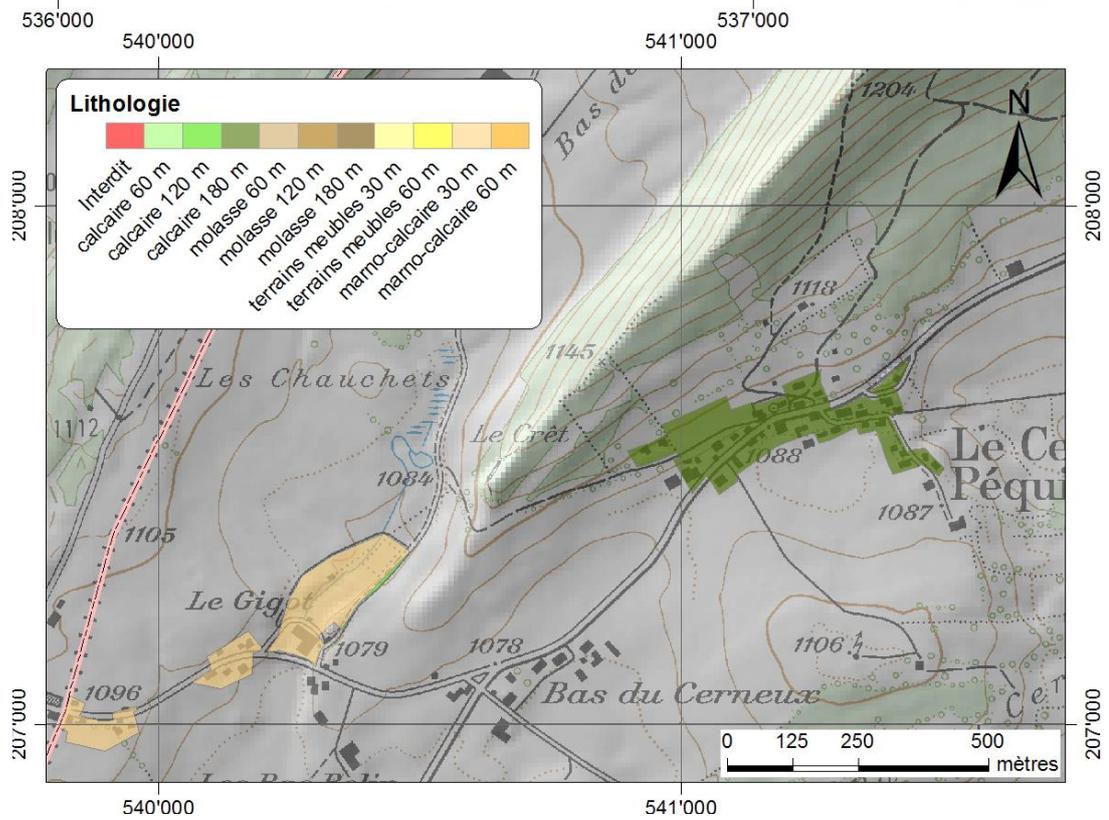
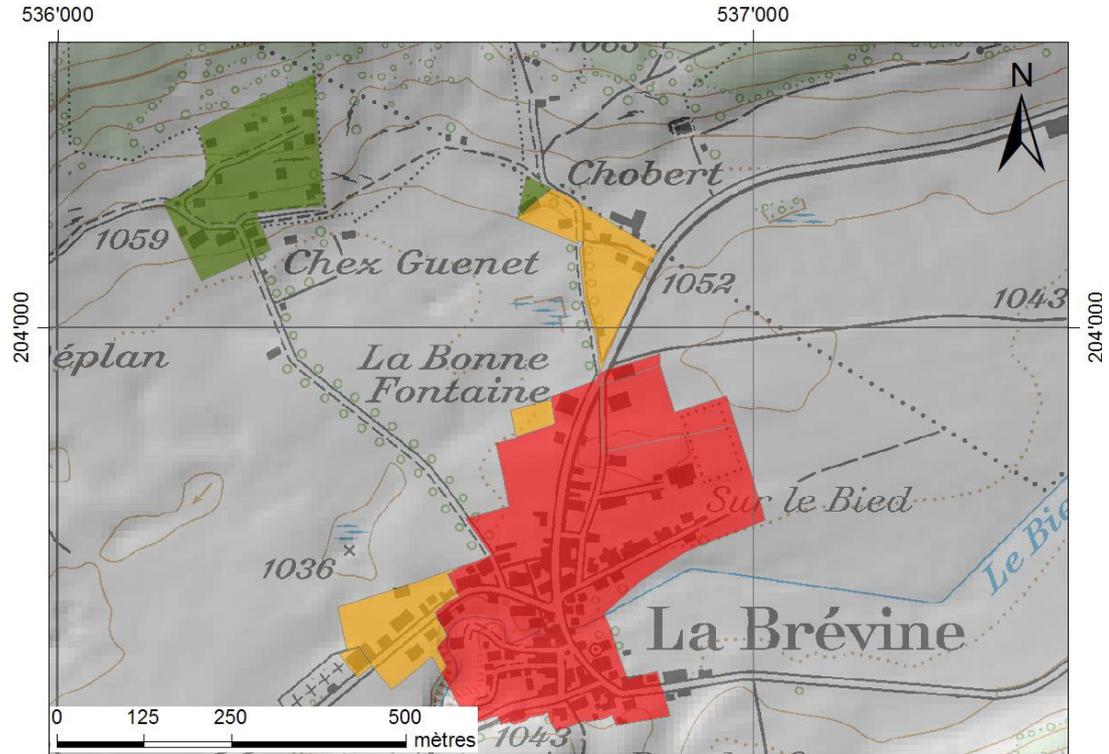
---

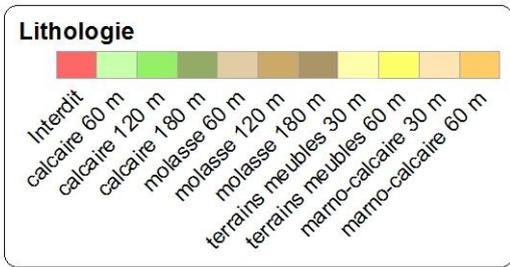
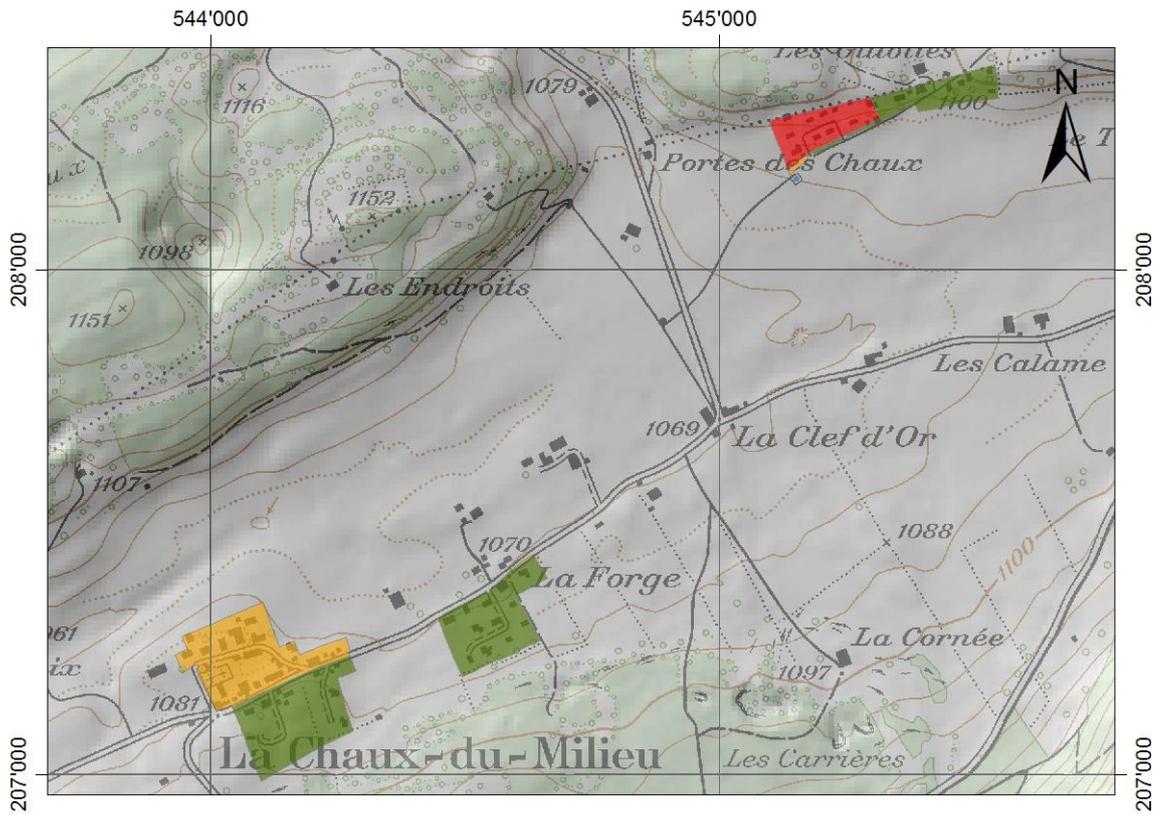
## **Annexe 2.1**

# **Cartes lithologiques simplifiées des localités étudiées**

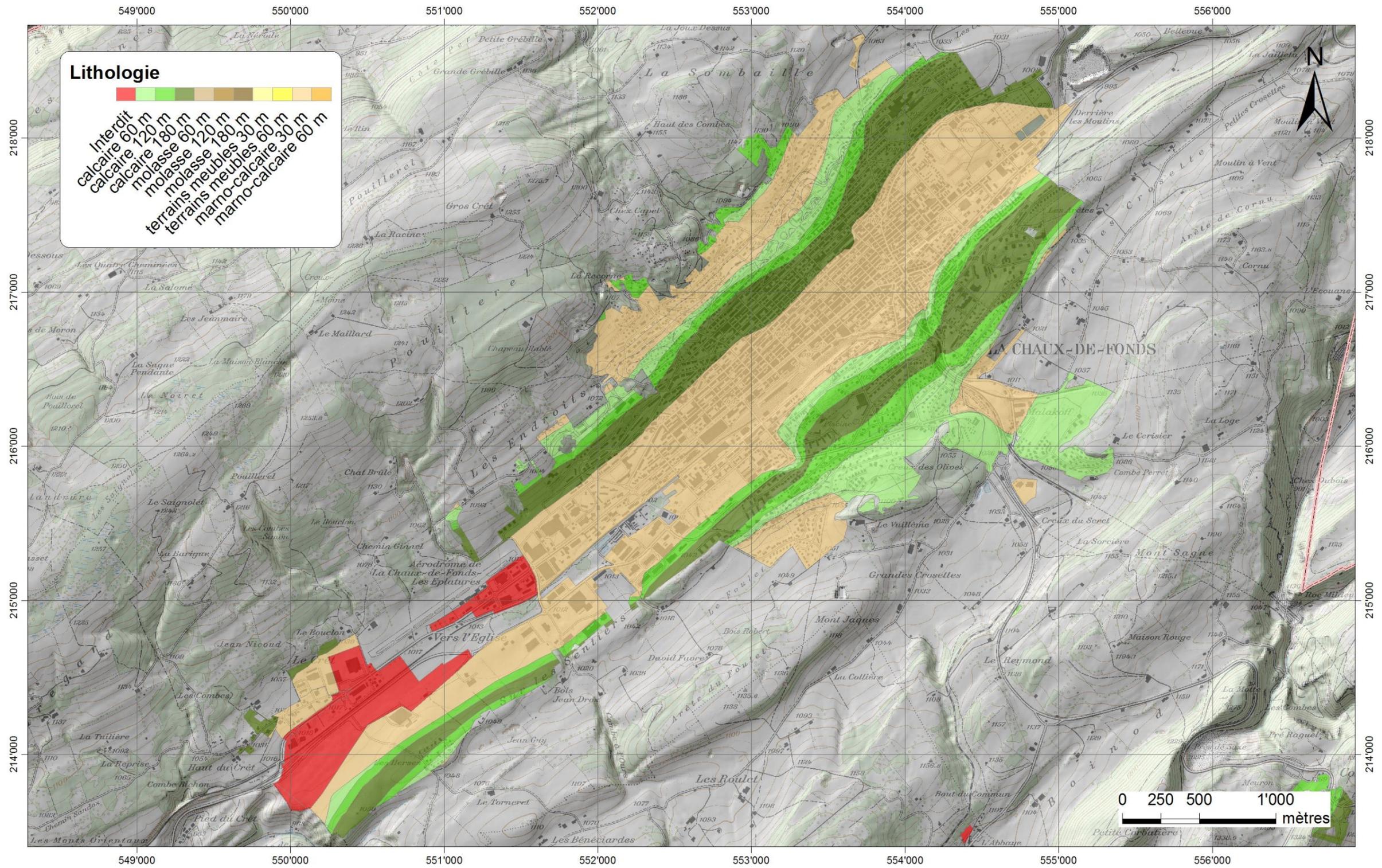
---

## Région climatique de la Vallée de la Brévine

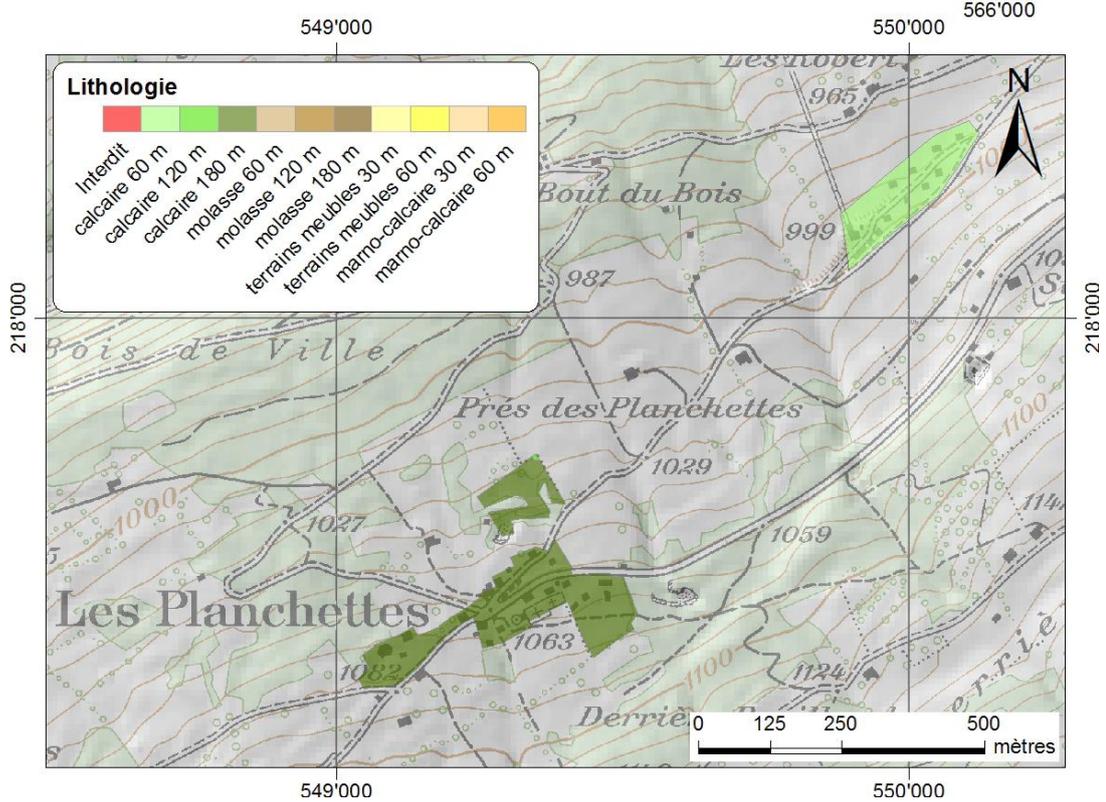
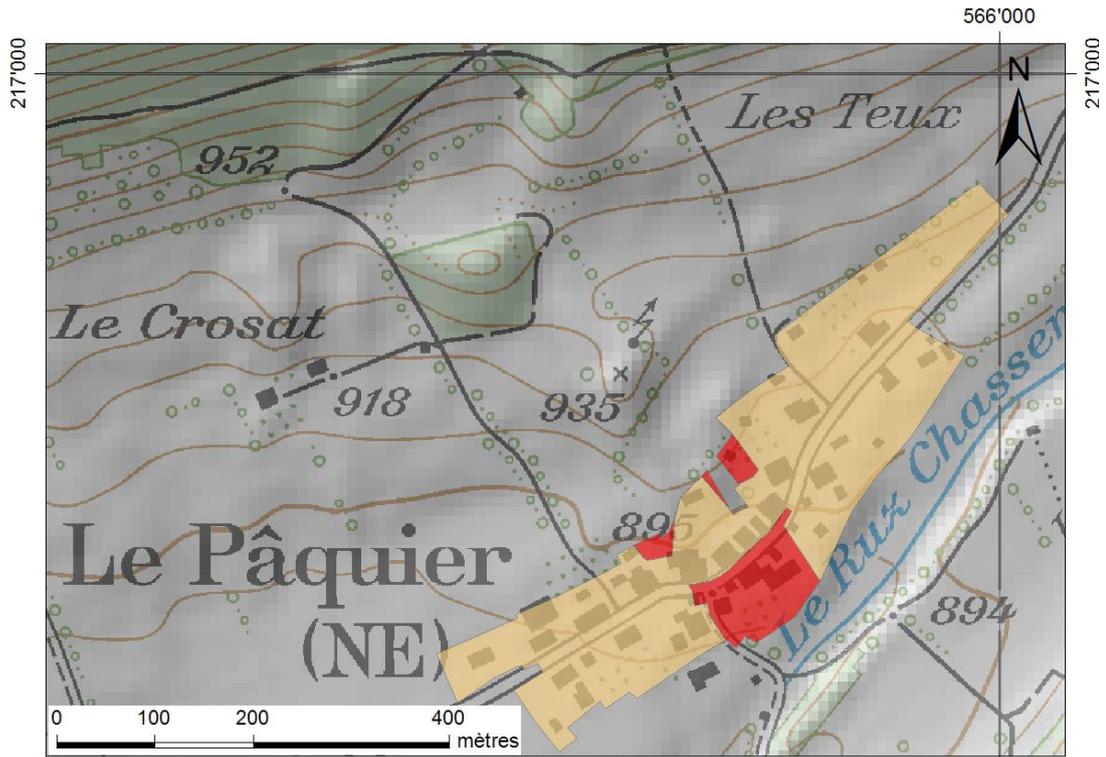




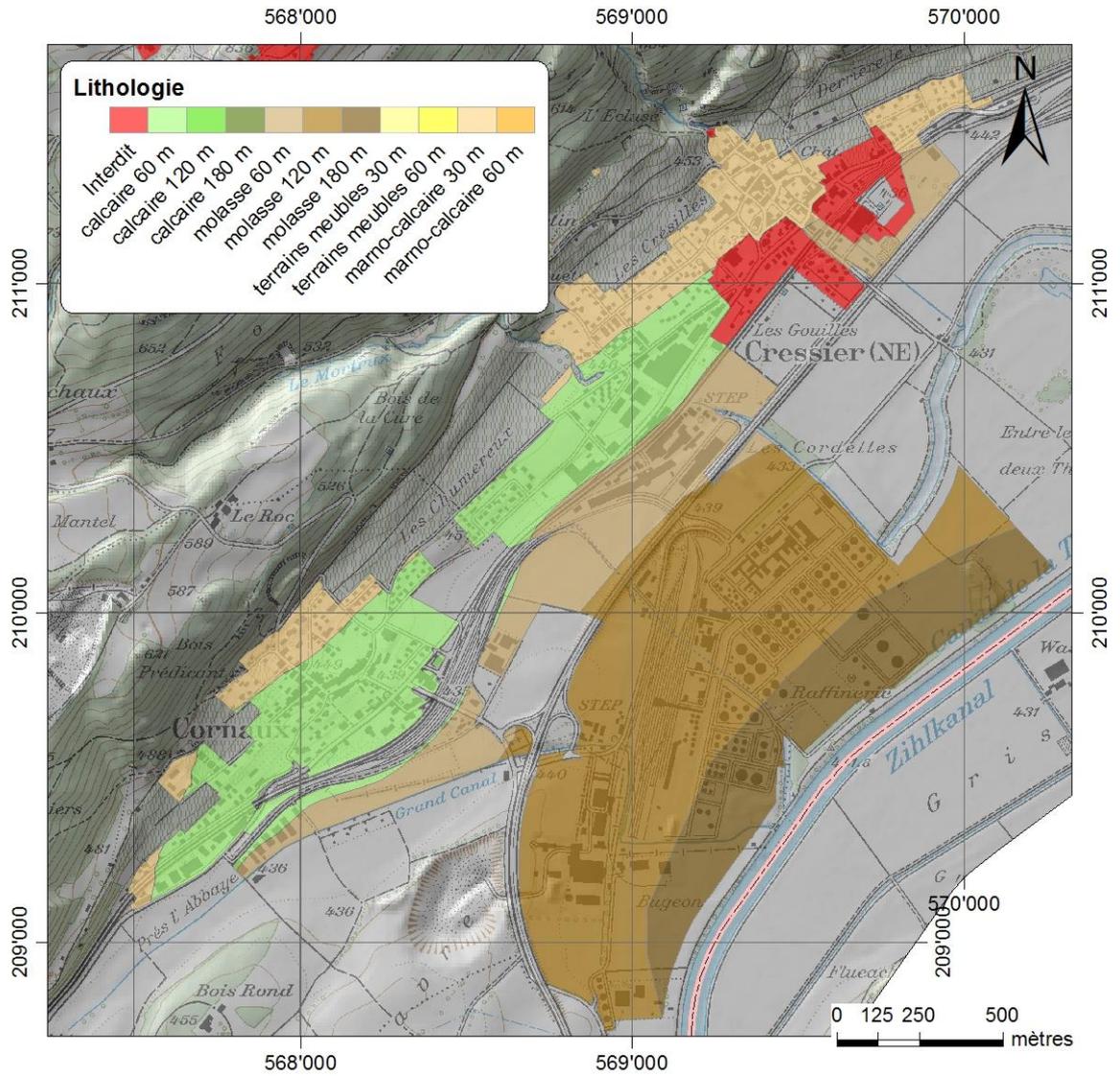
## Région climatique de la Chaux-de-Fonds

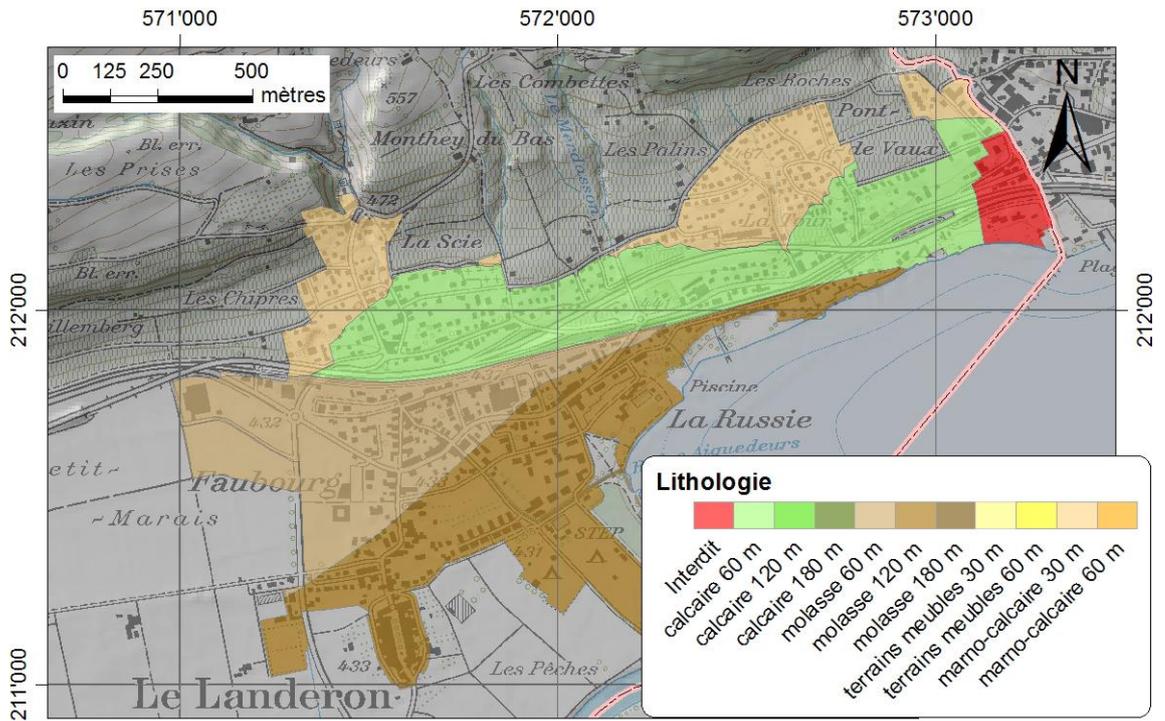




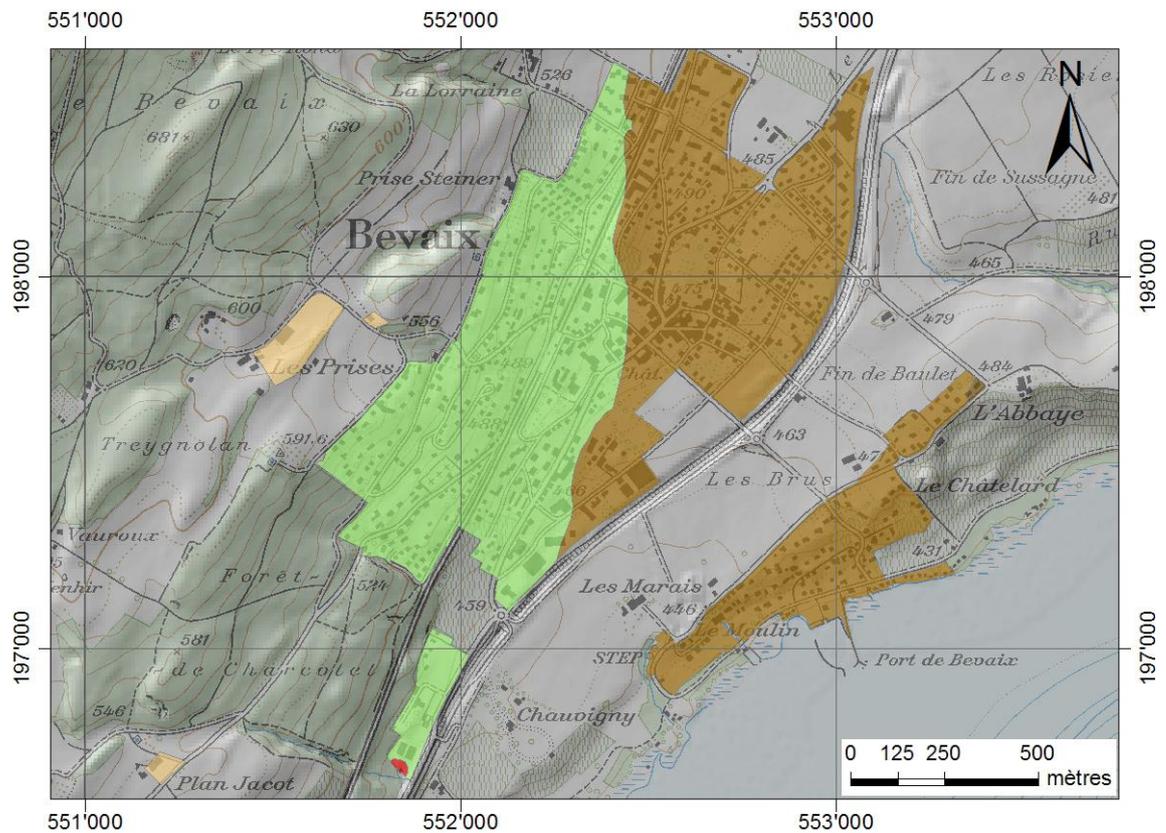


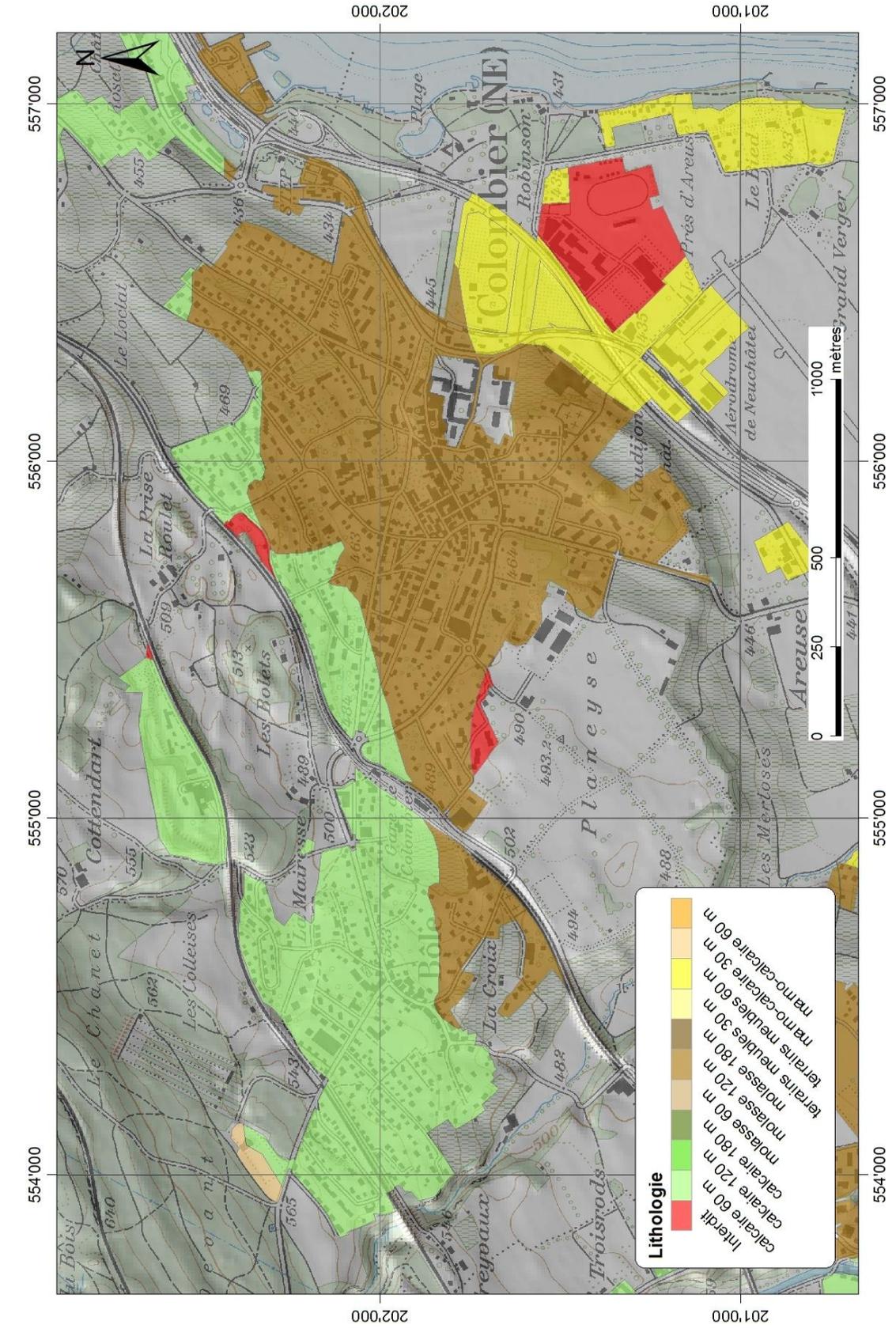
## Région climatique du littoral Est

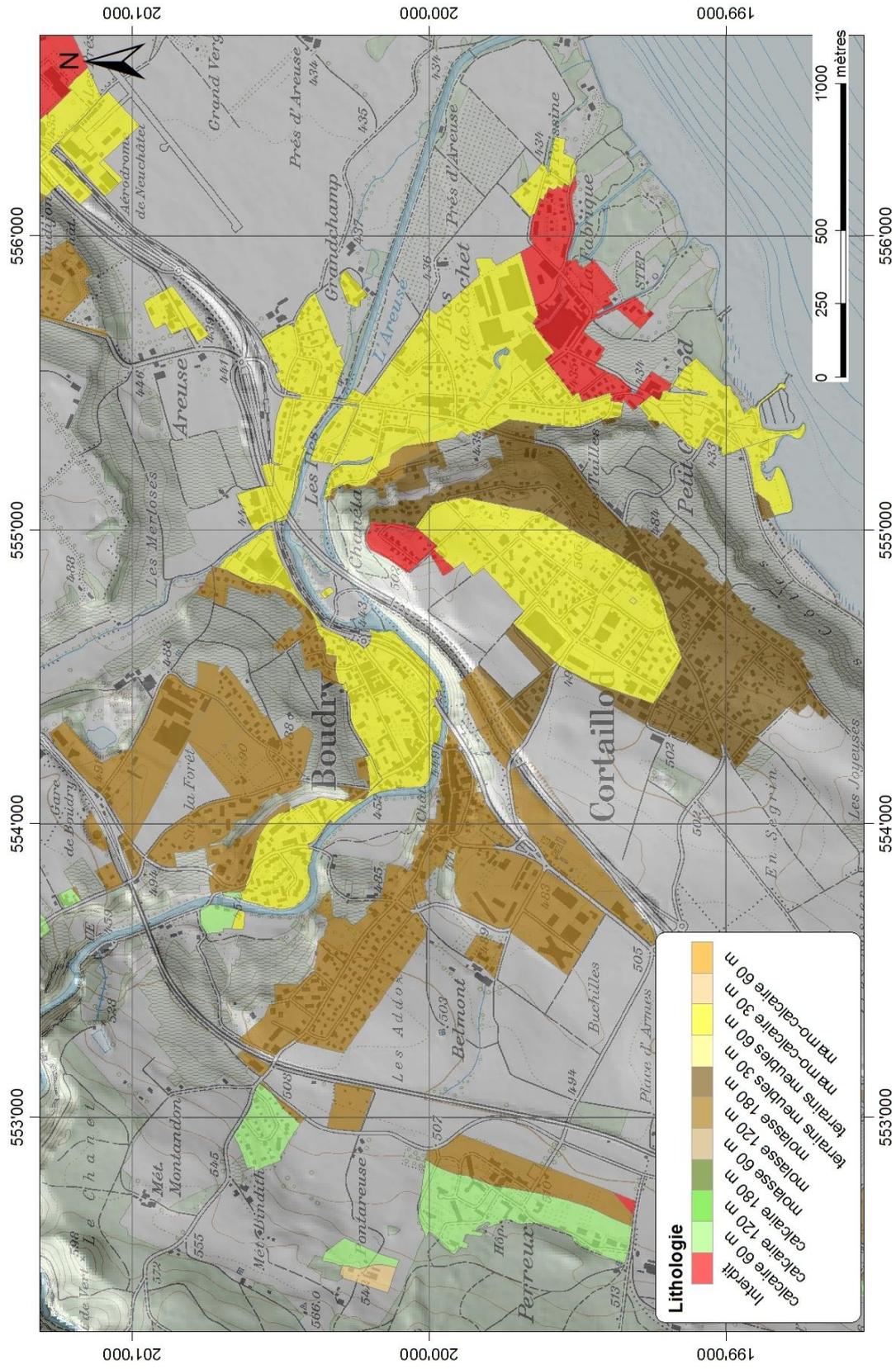


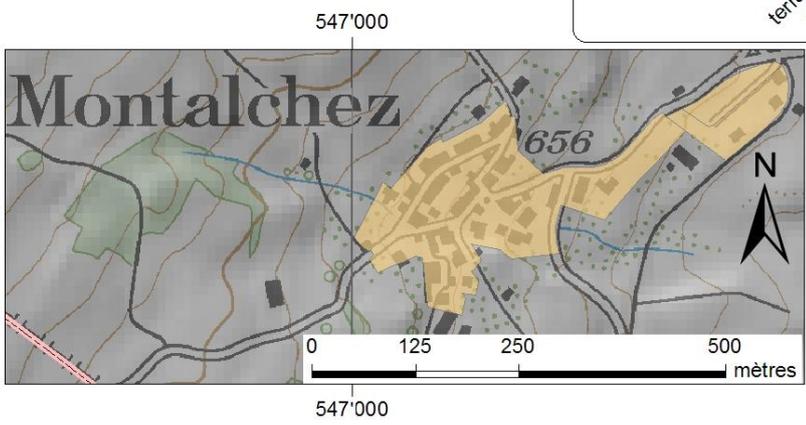
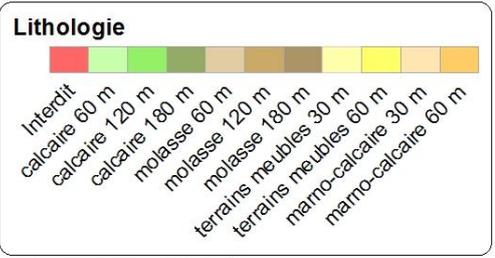
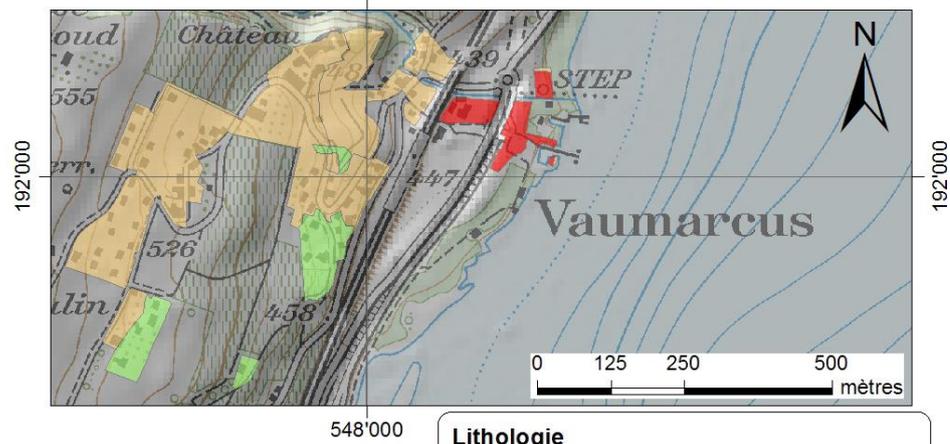
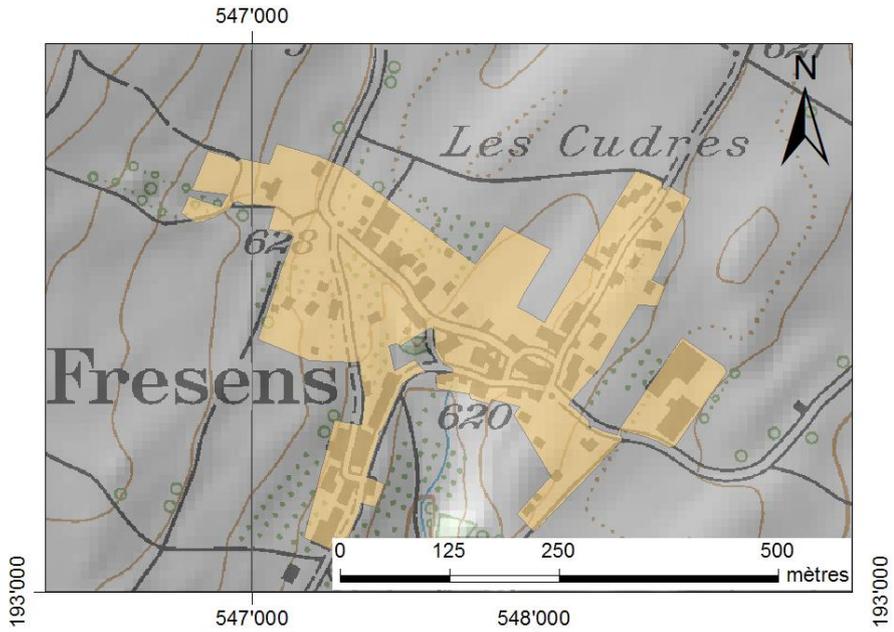


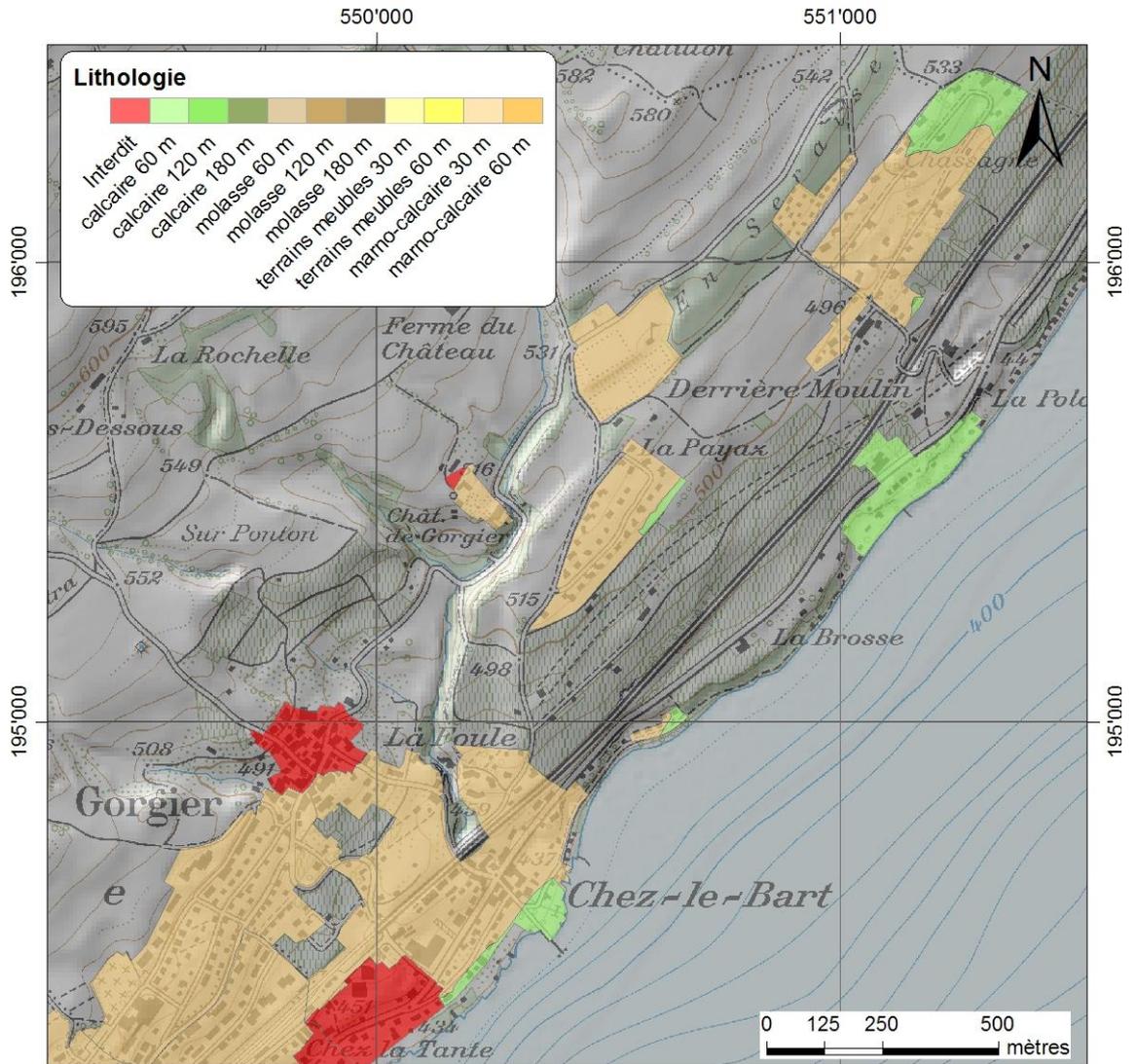
## Région climatique du littoral Ouest

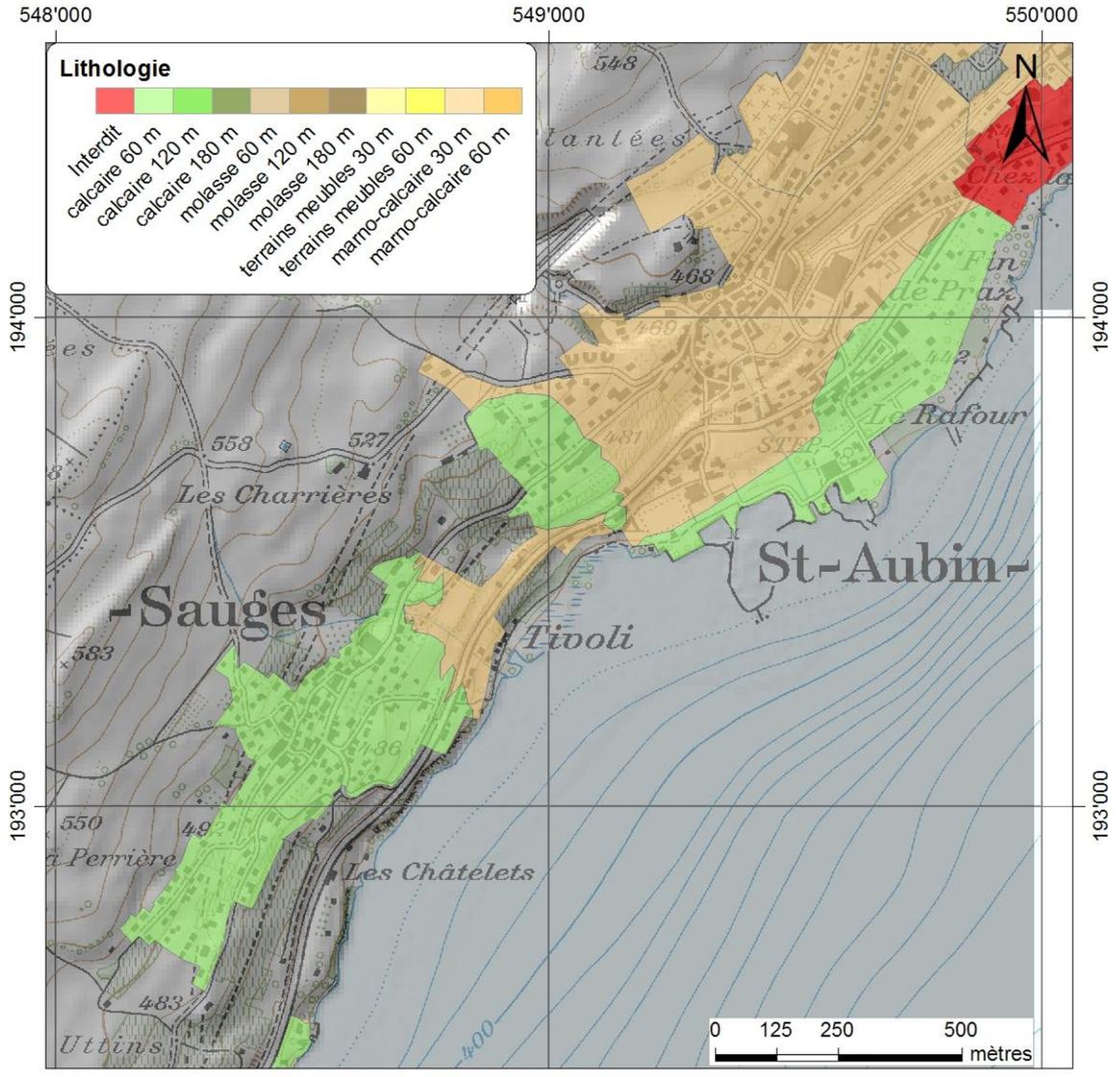




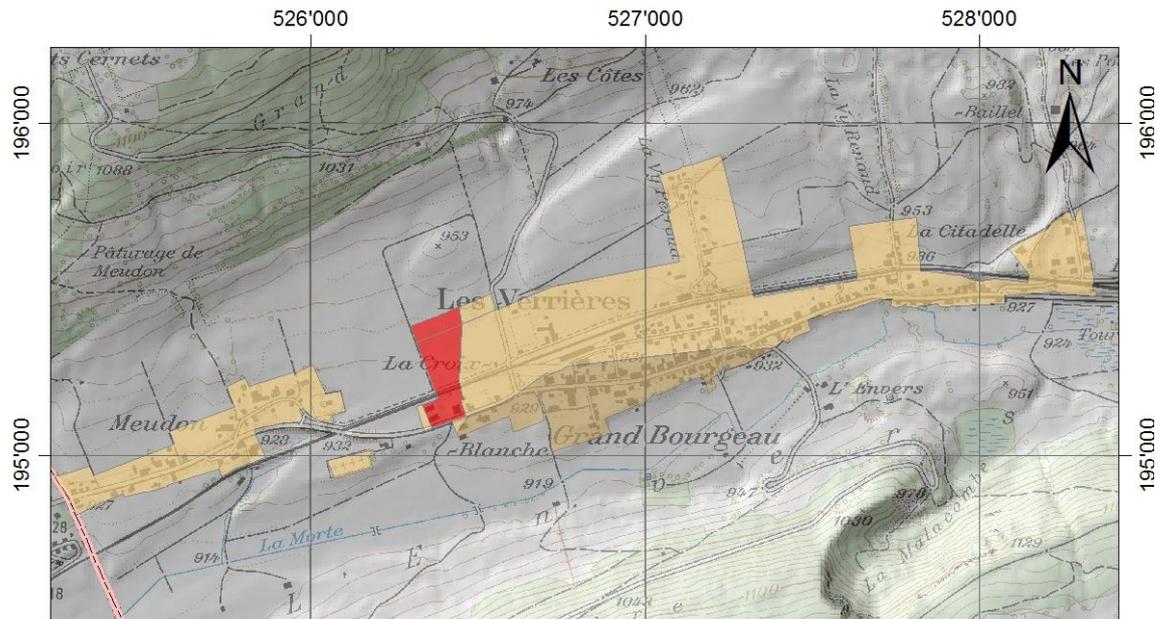




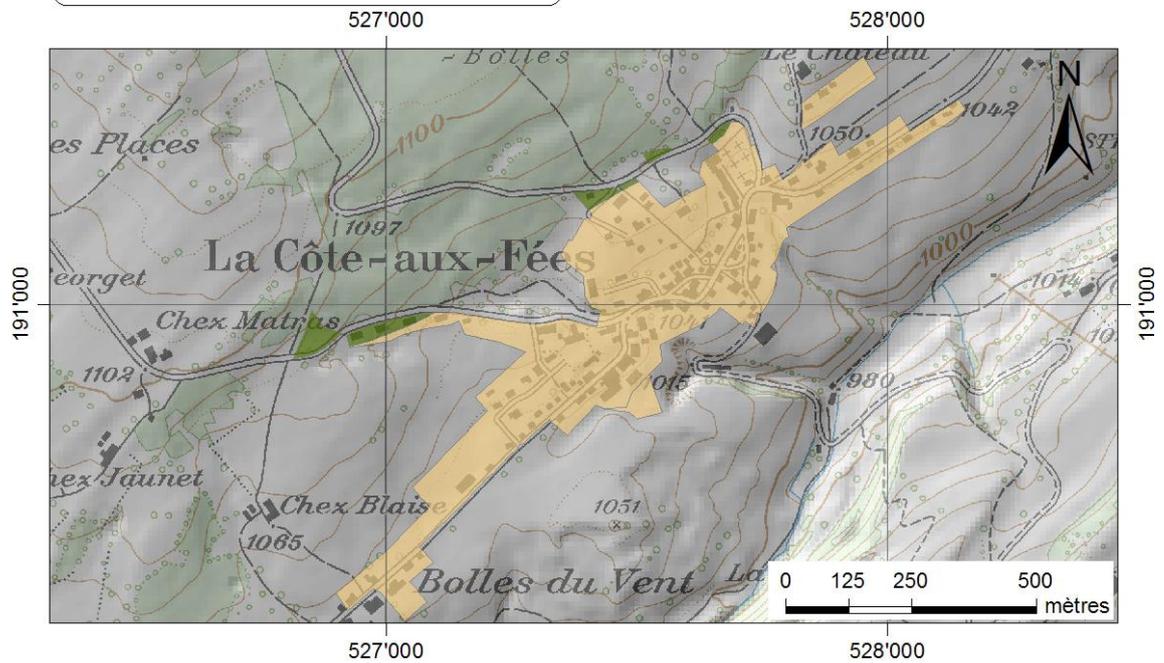


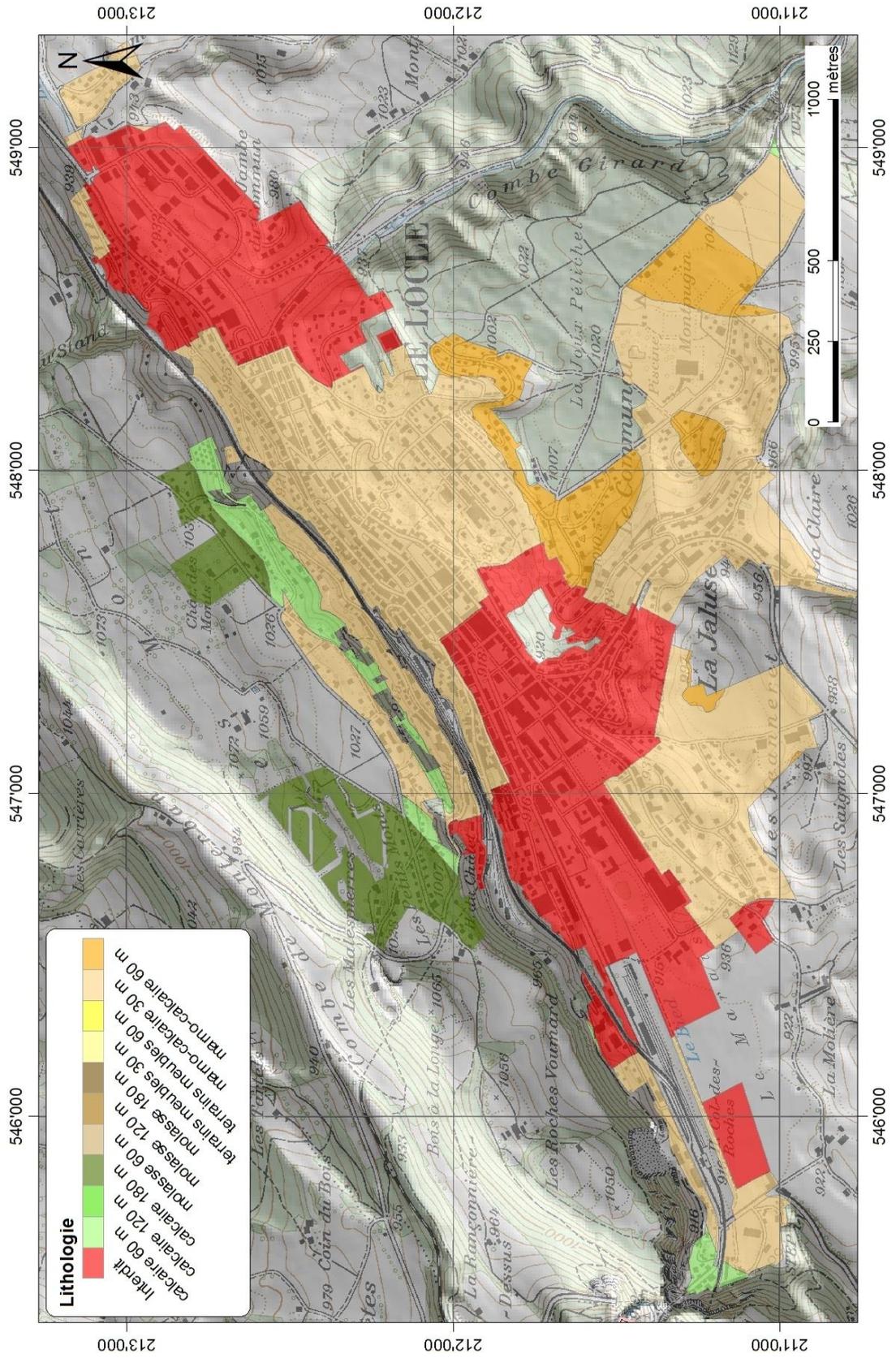


## Région climatique du Locle



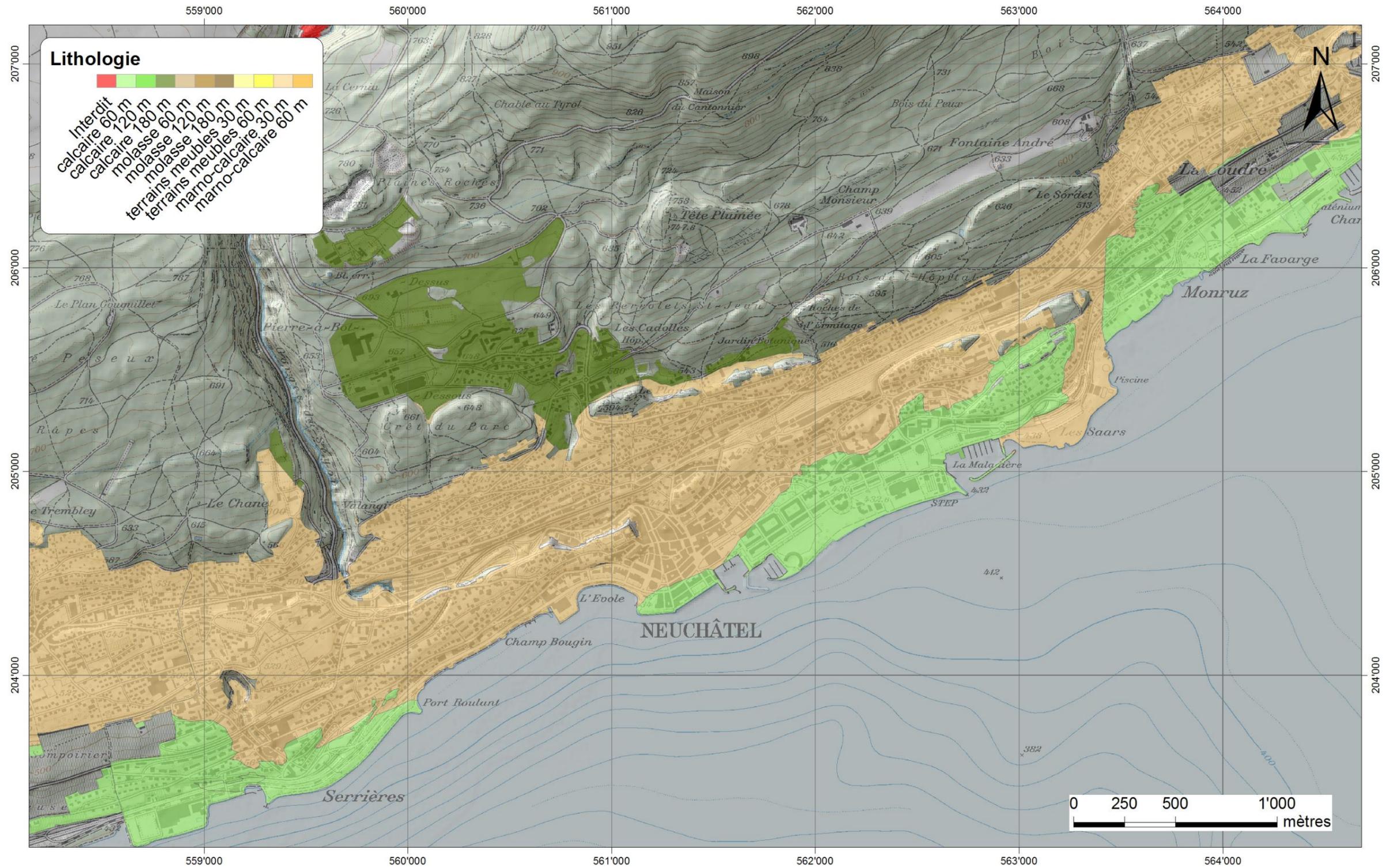
### Lithologie



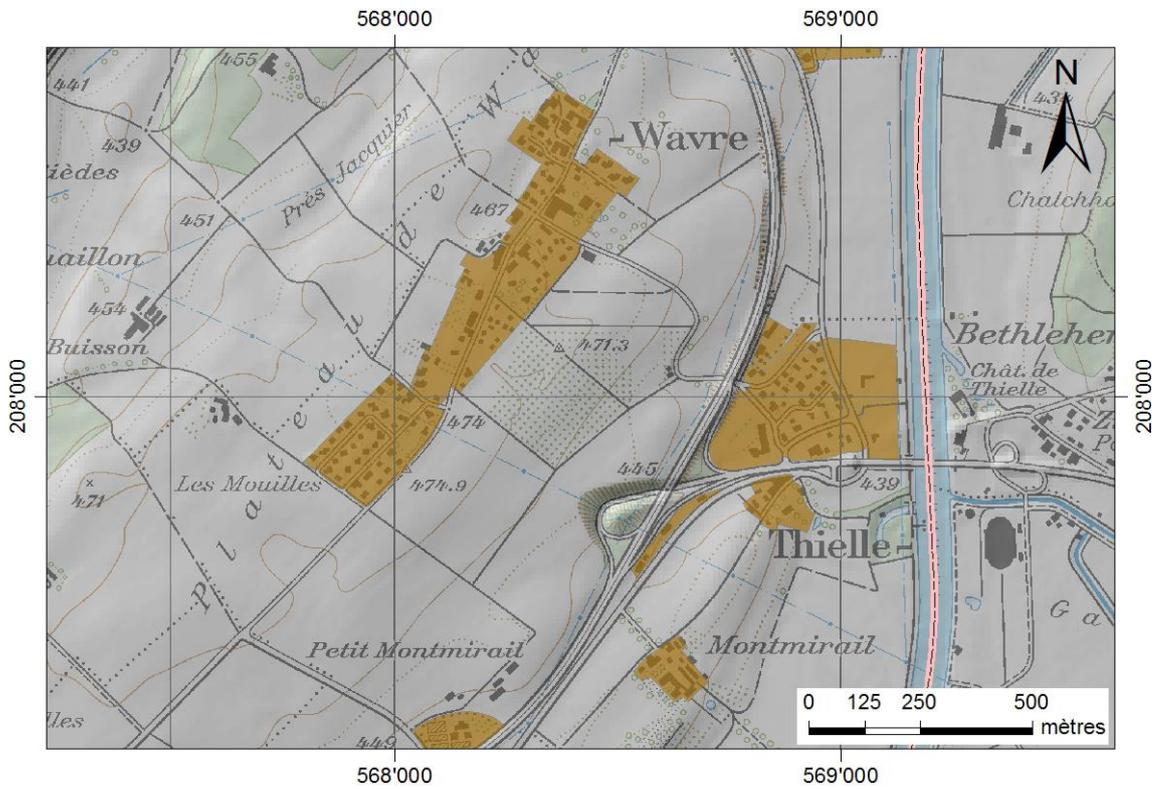
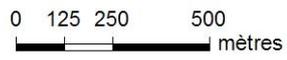
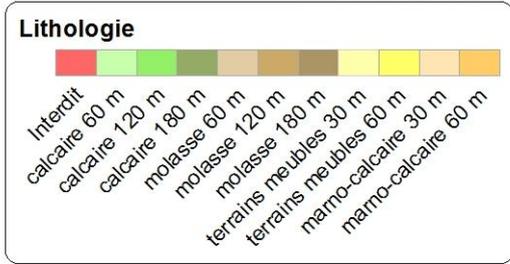
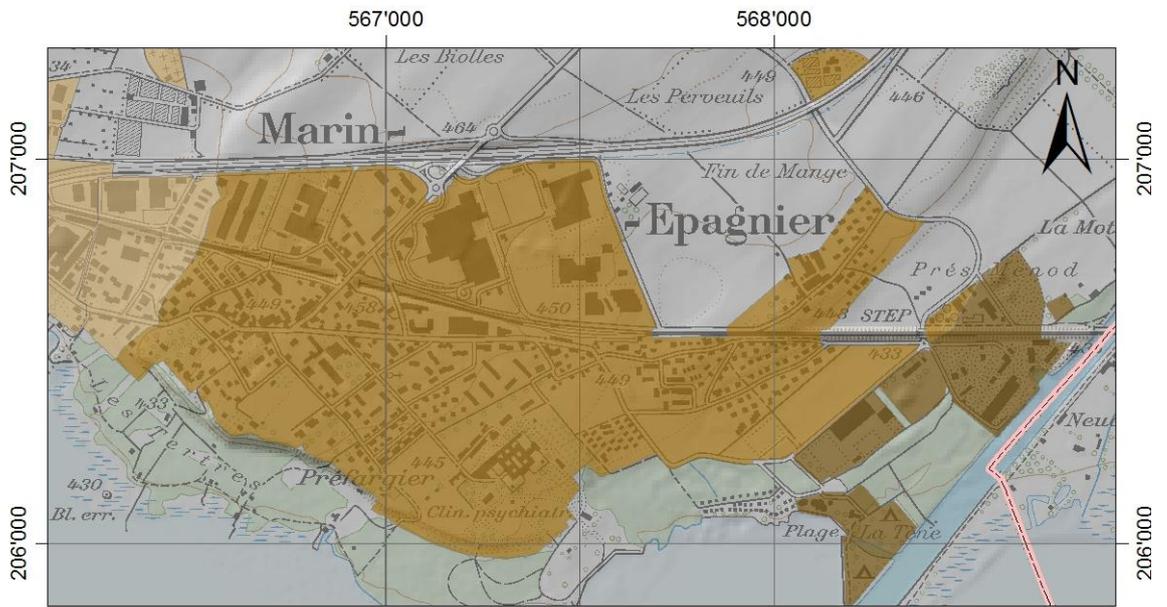


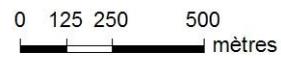
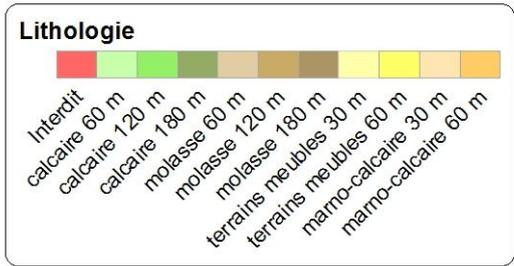
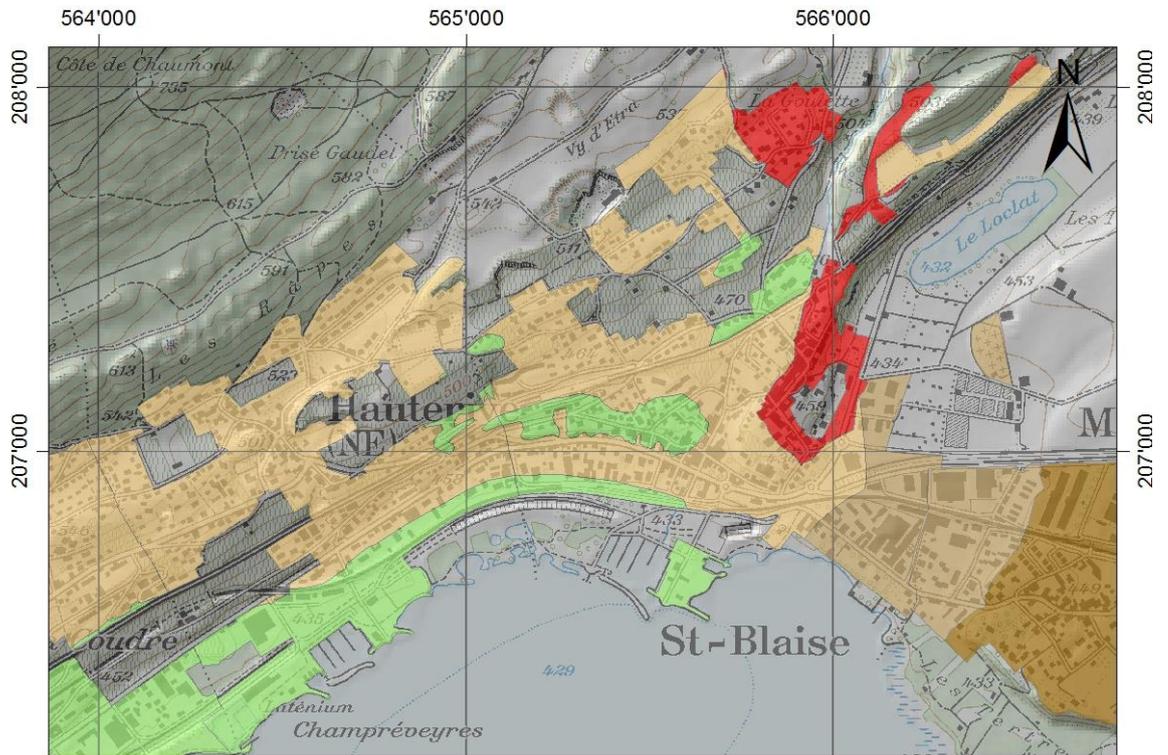


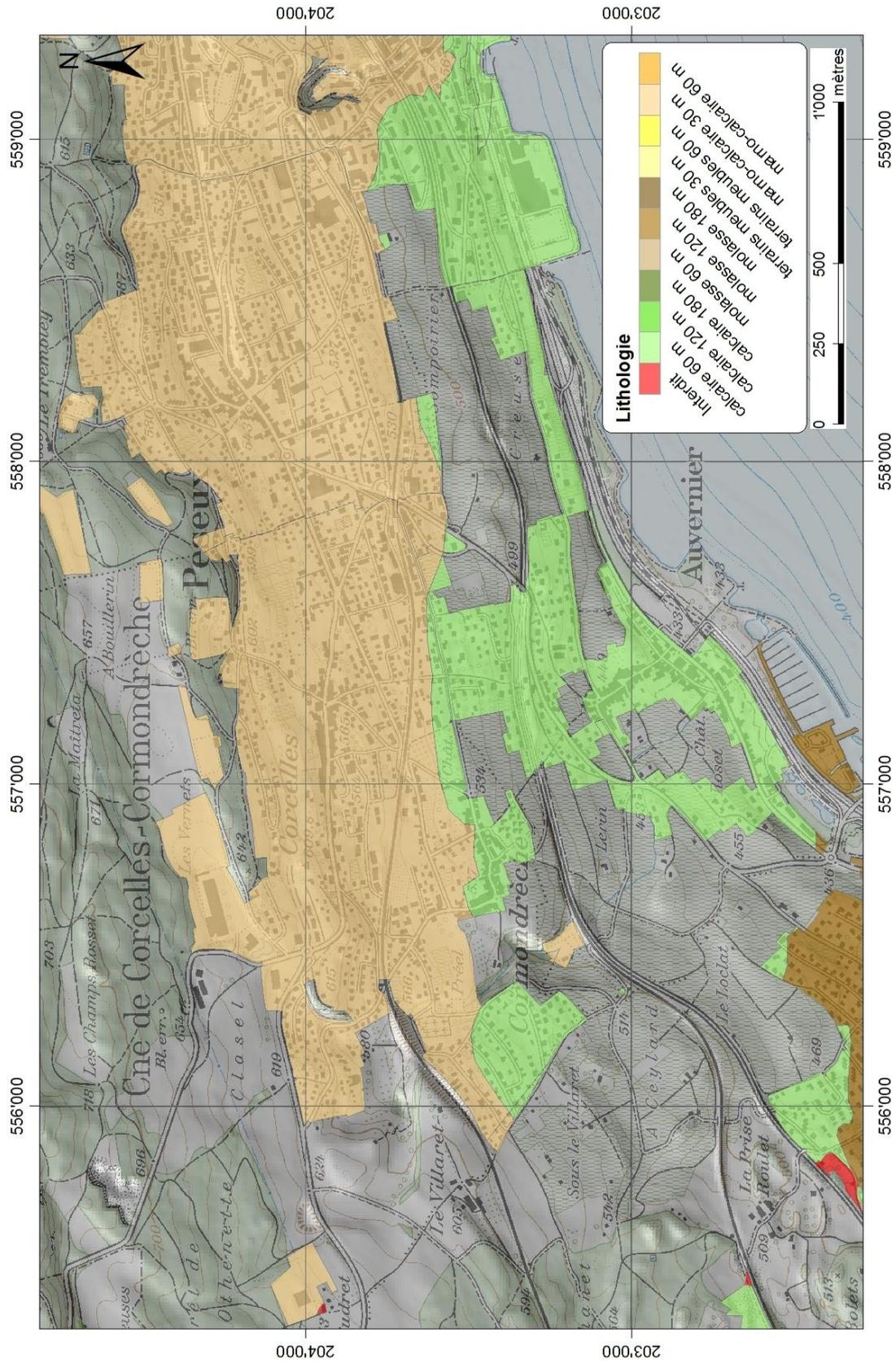
# Région climatique de Neuchâtel



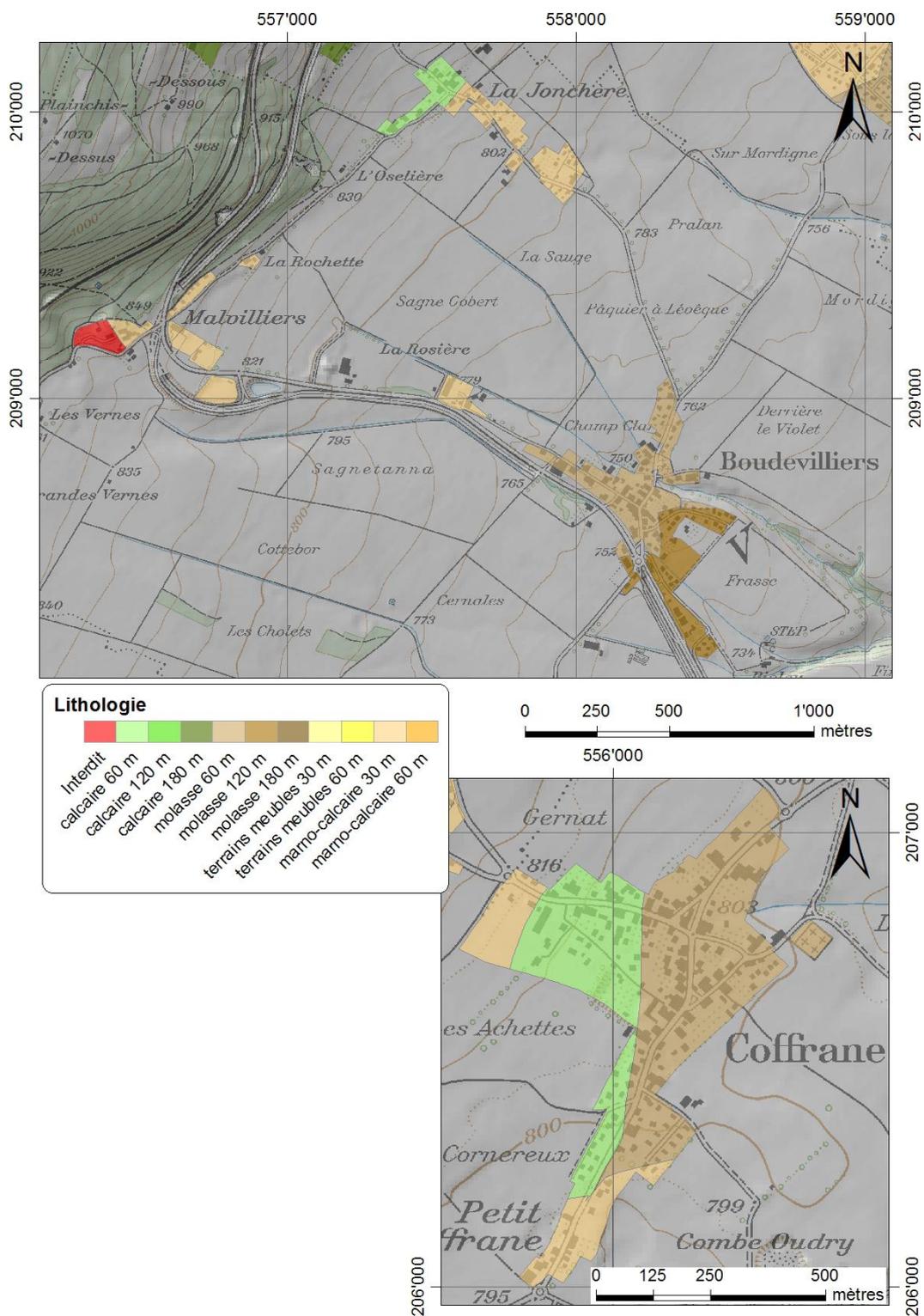


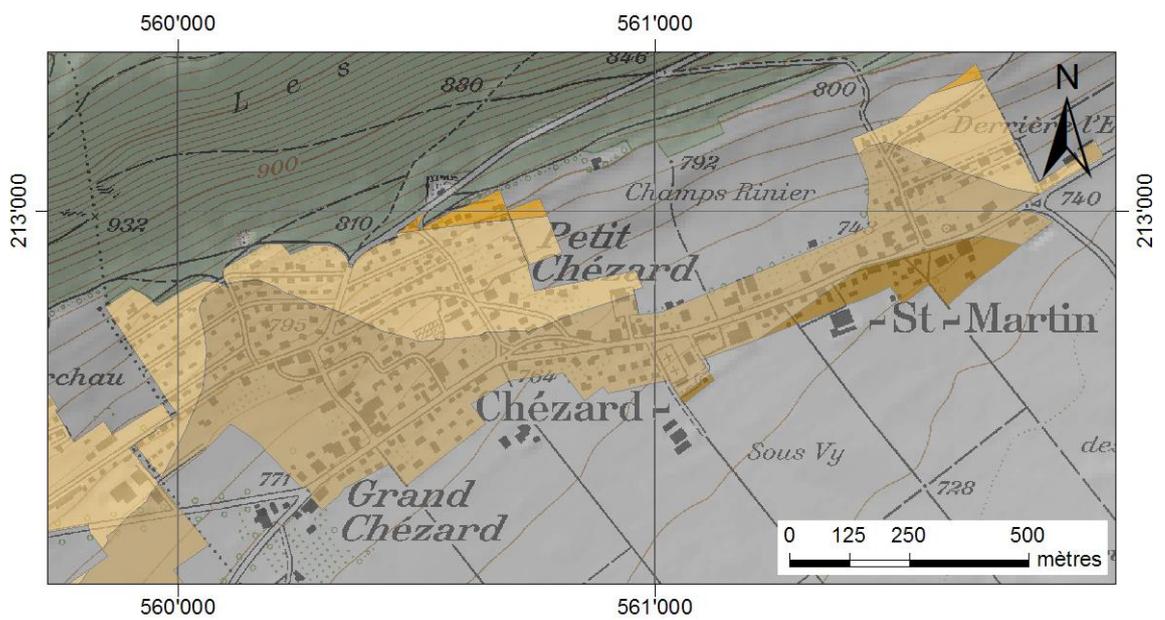
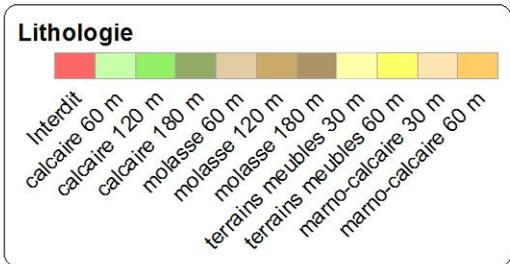
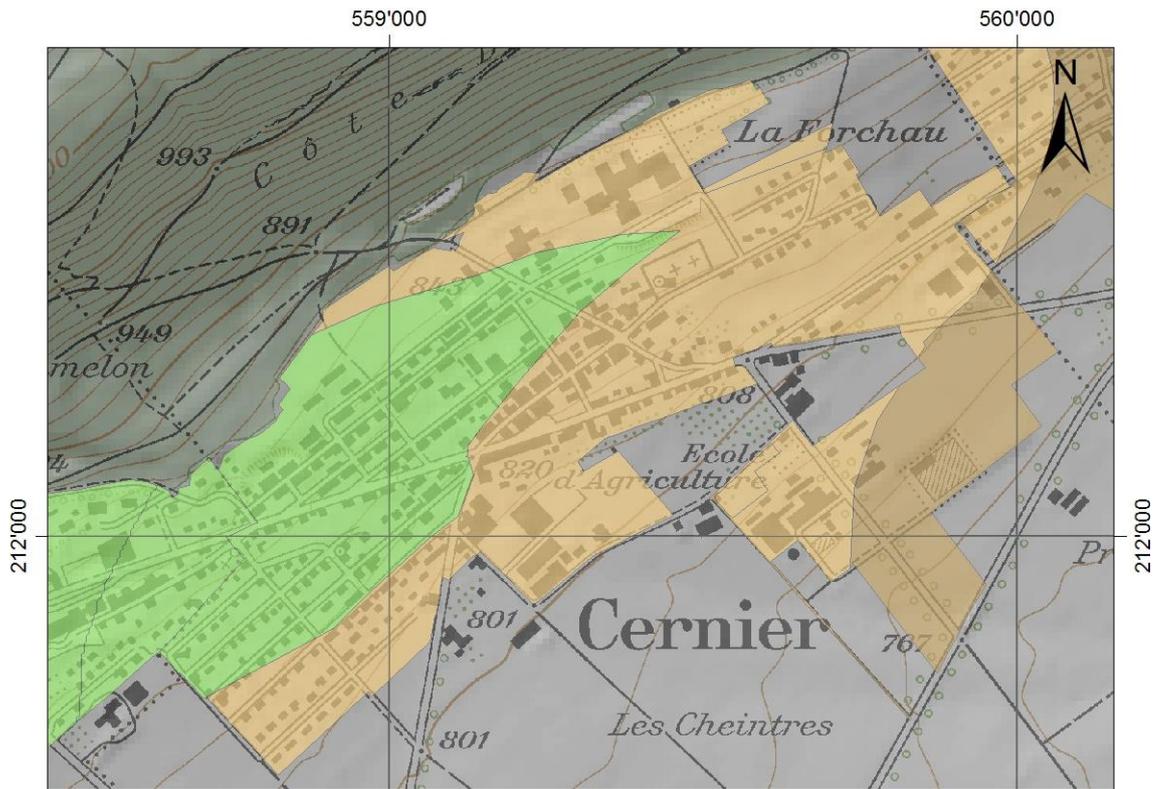


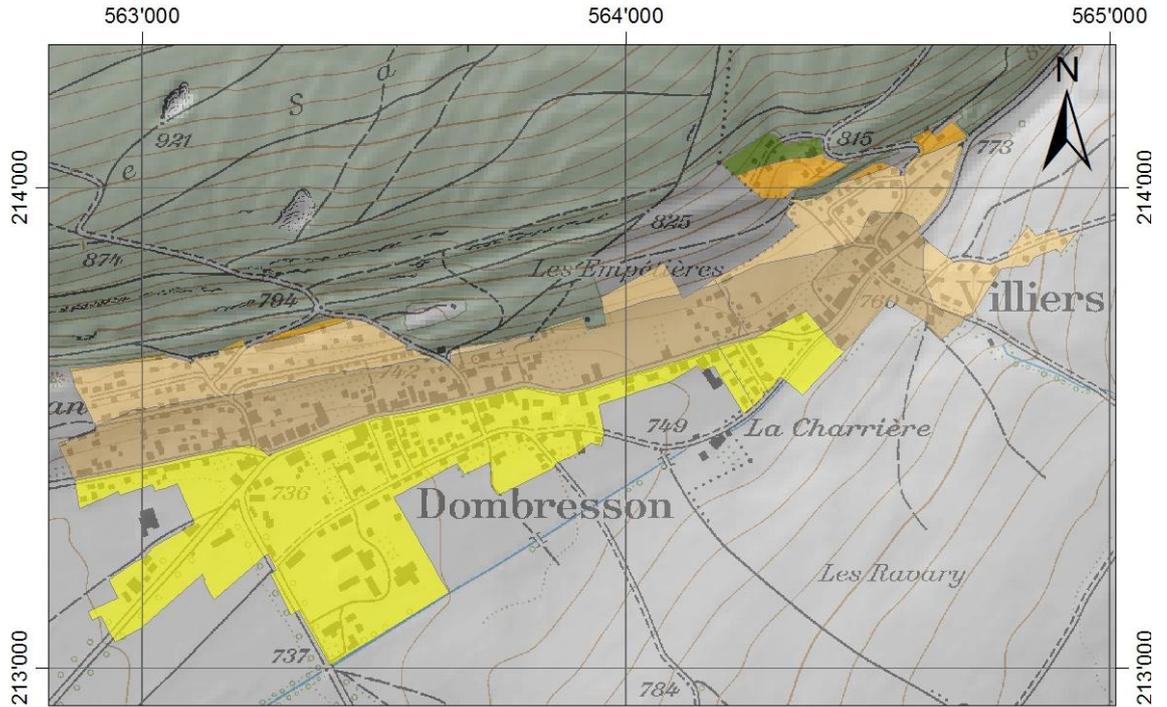




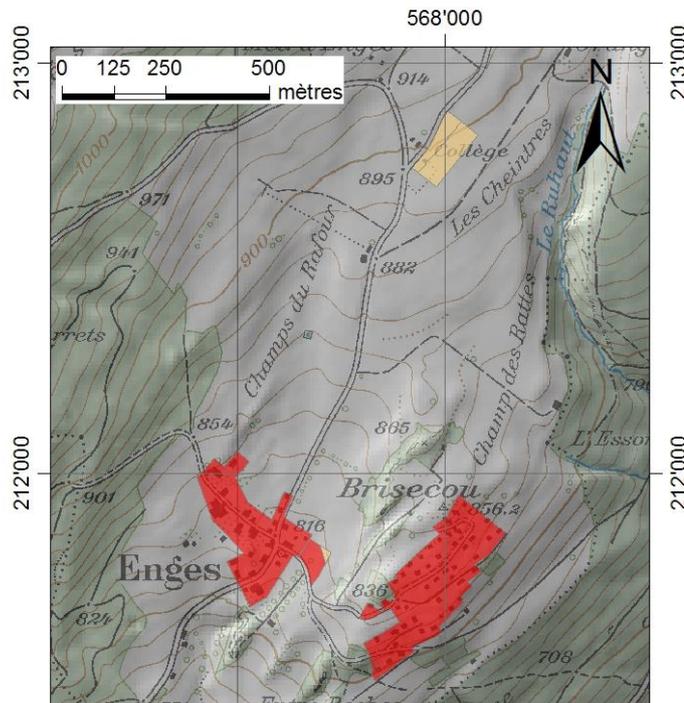
## Région climatique du Val-de-Ruz

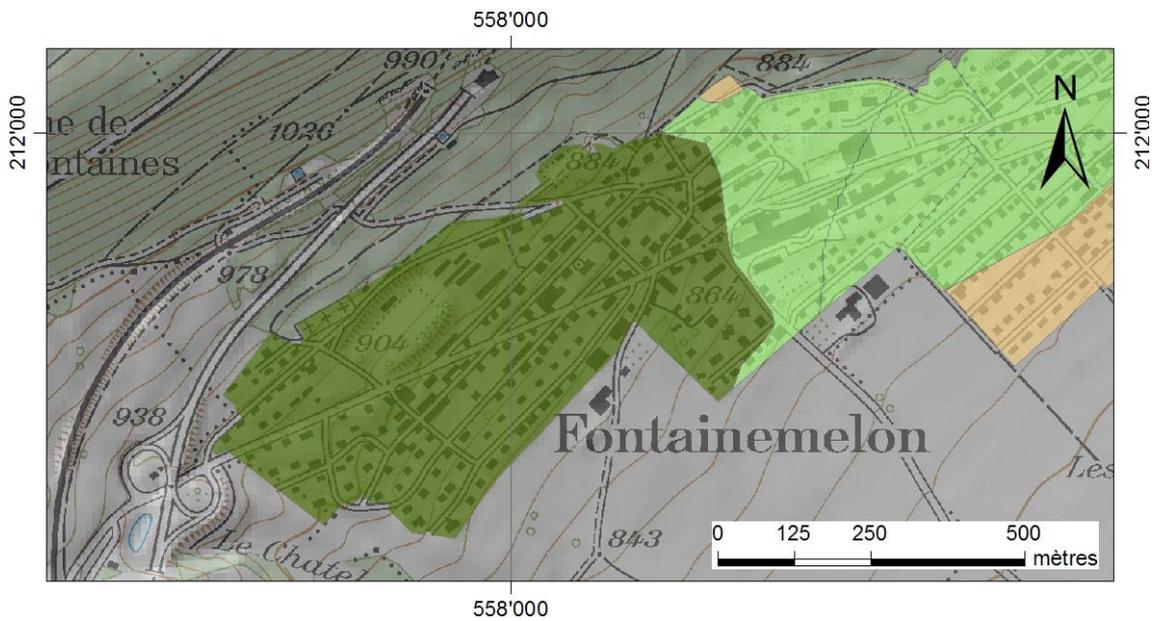
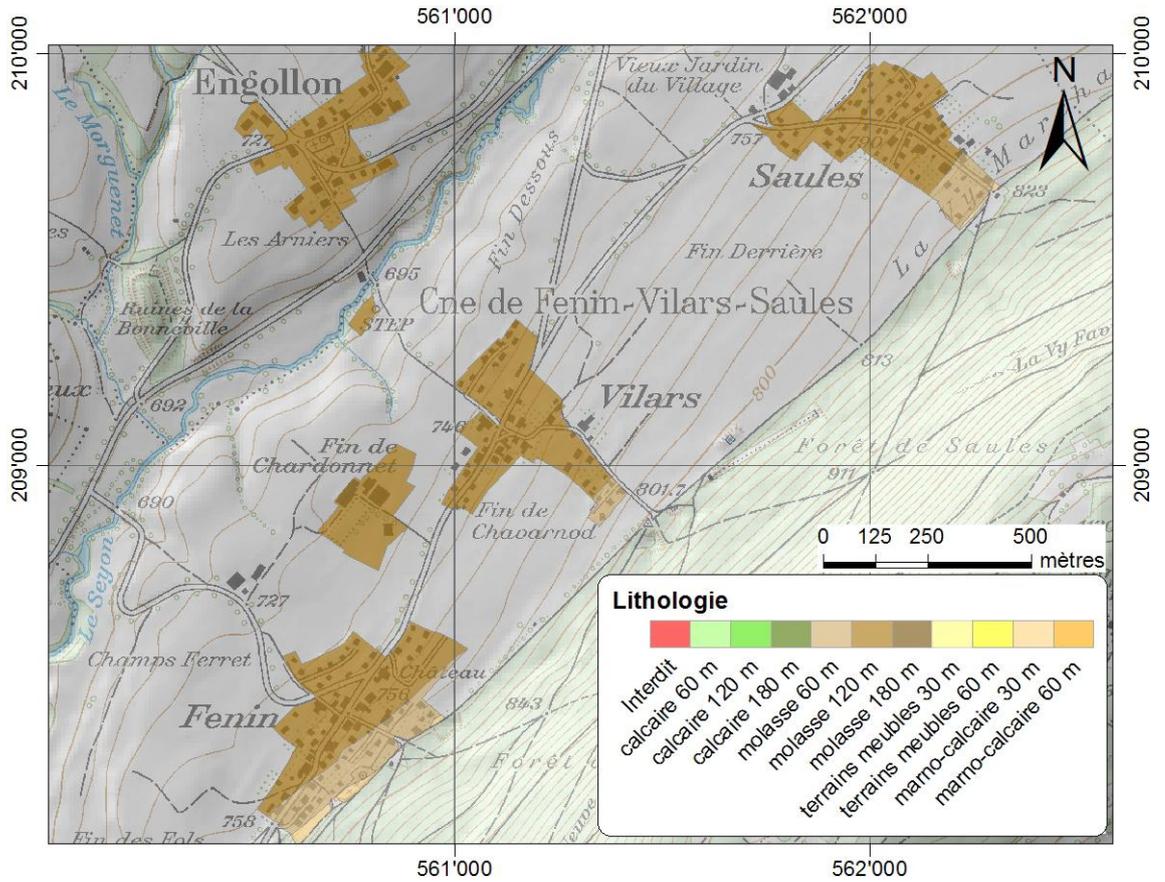


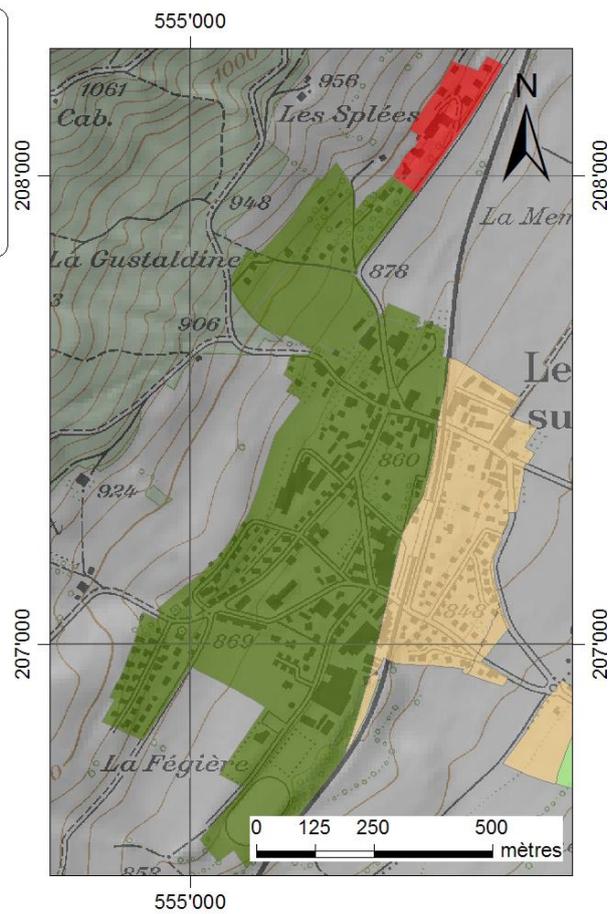
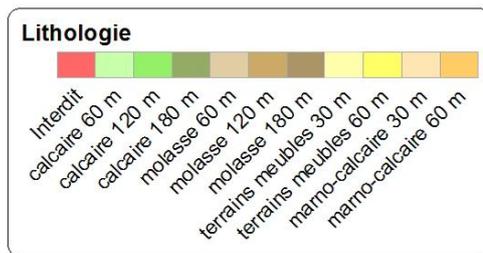
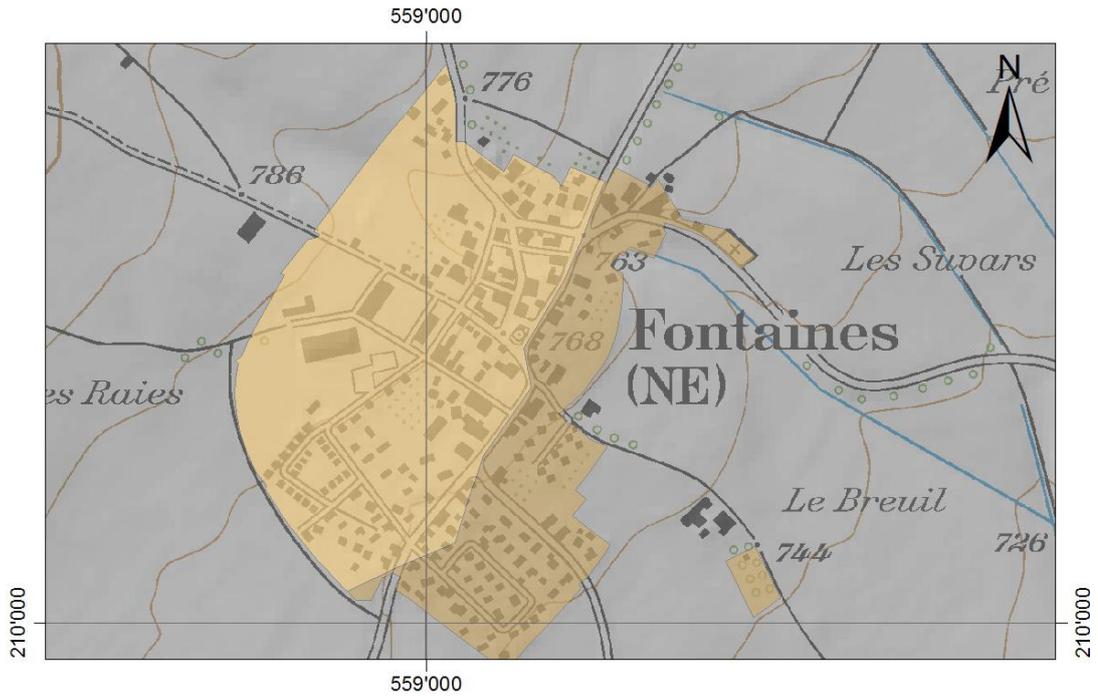


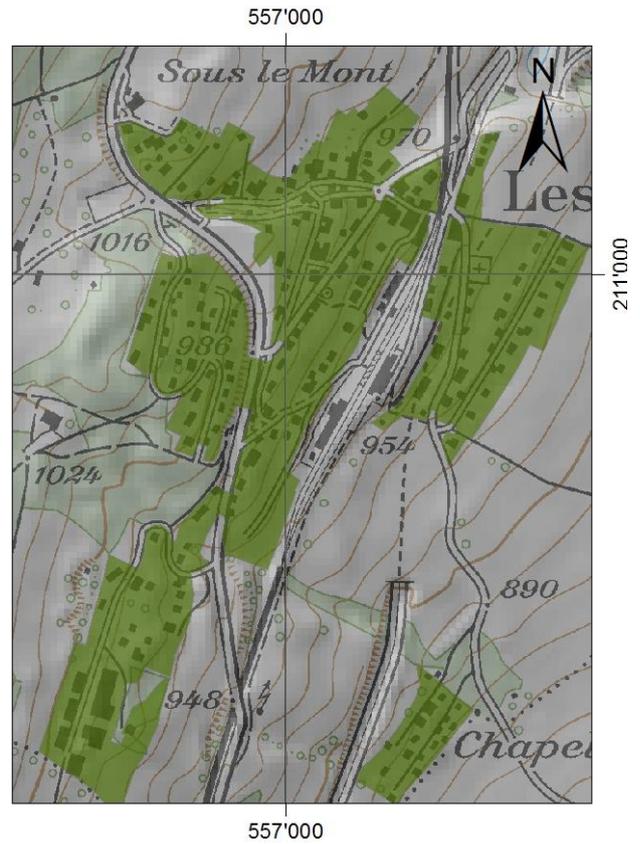
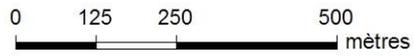
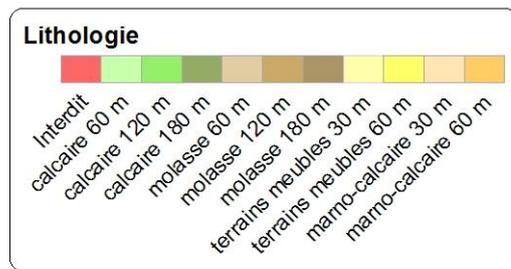
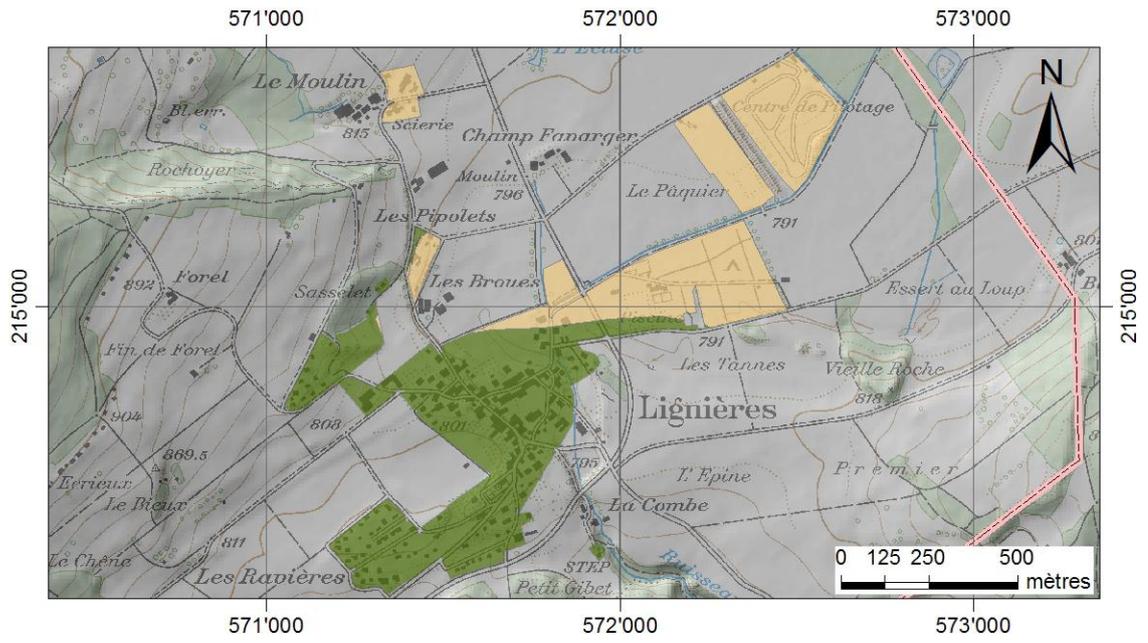


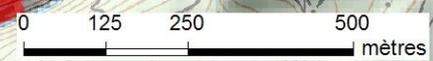
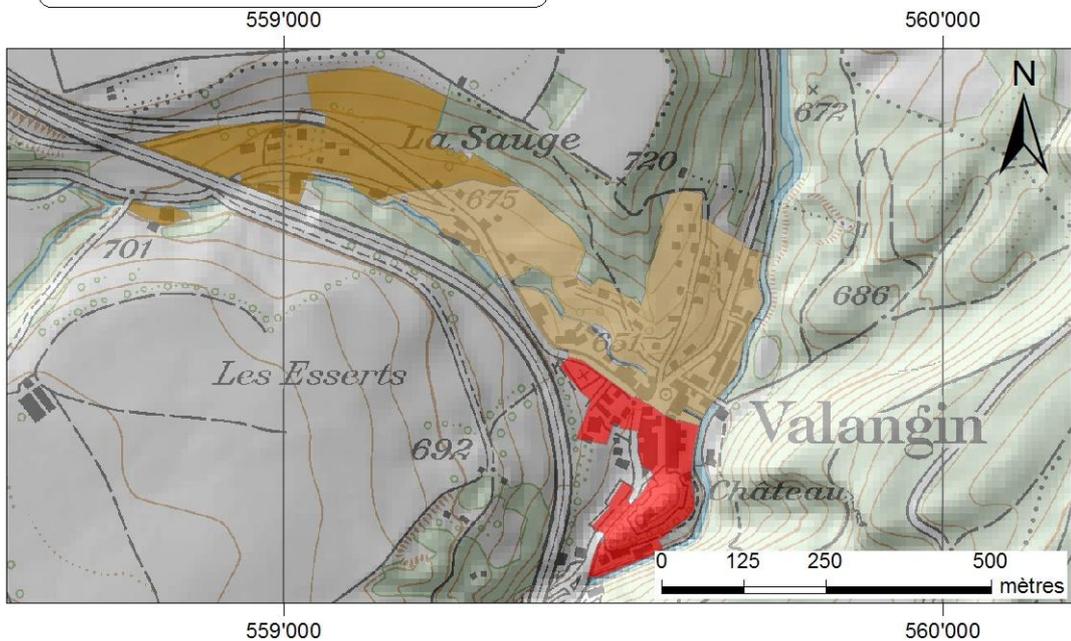
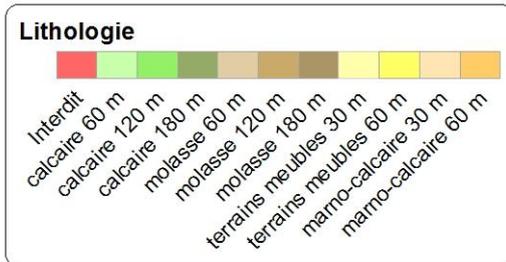
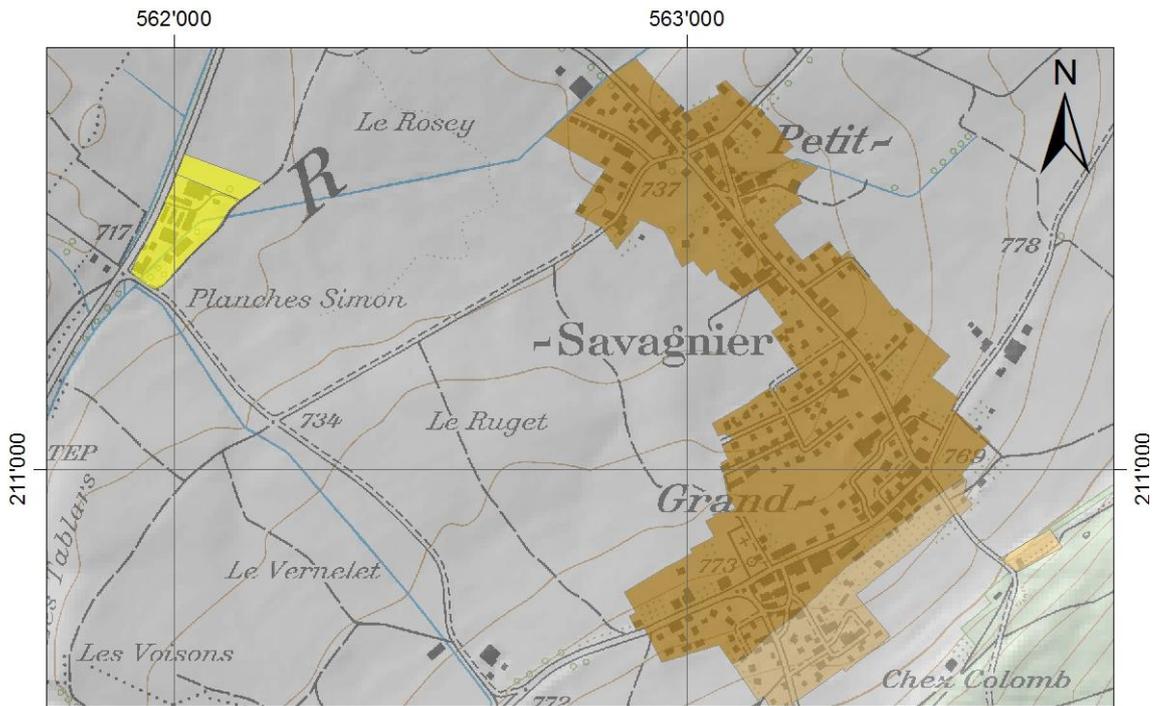
**Lithologie**

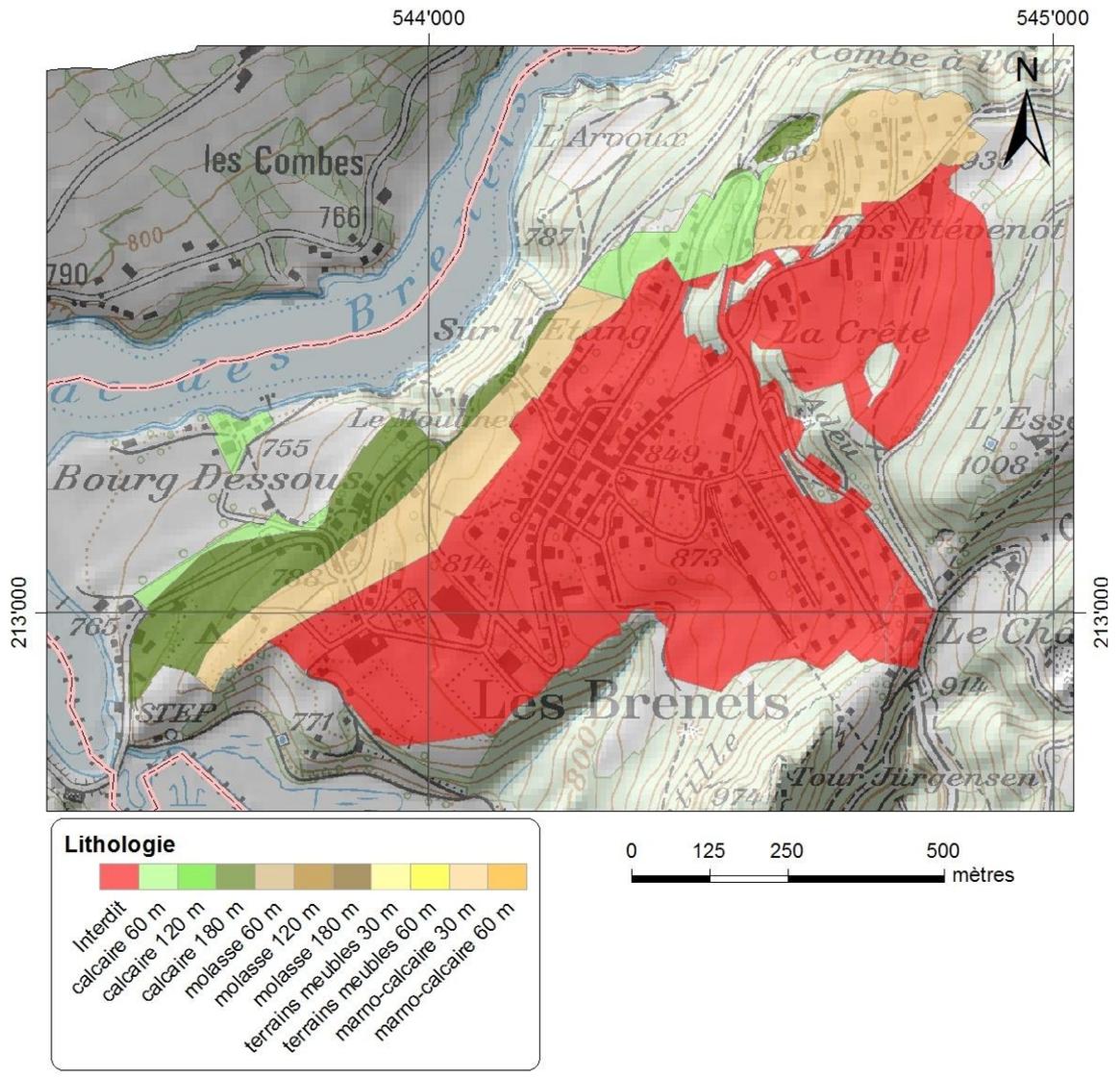


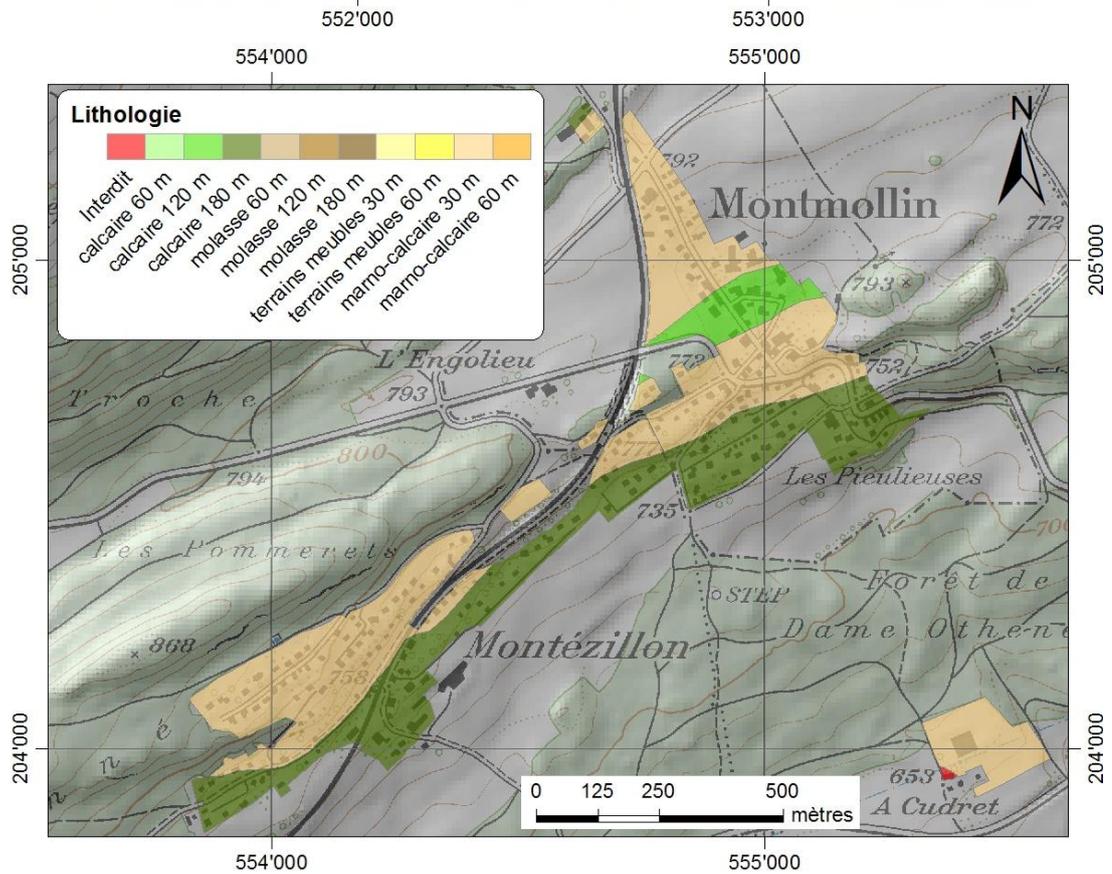
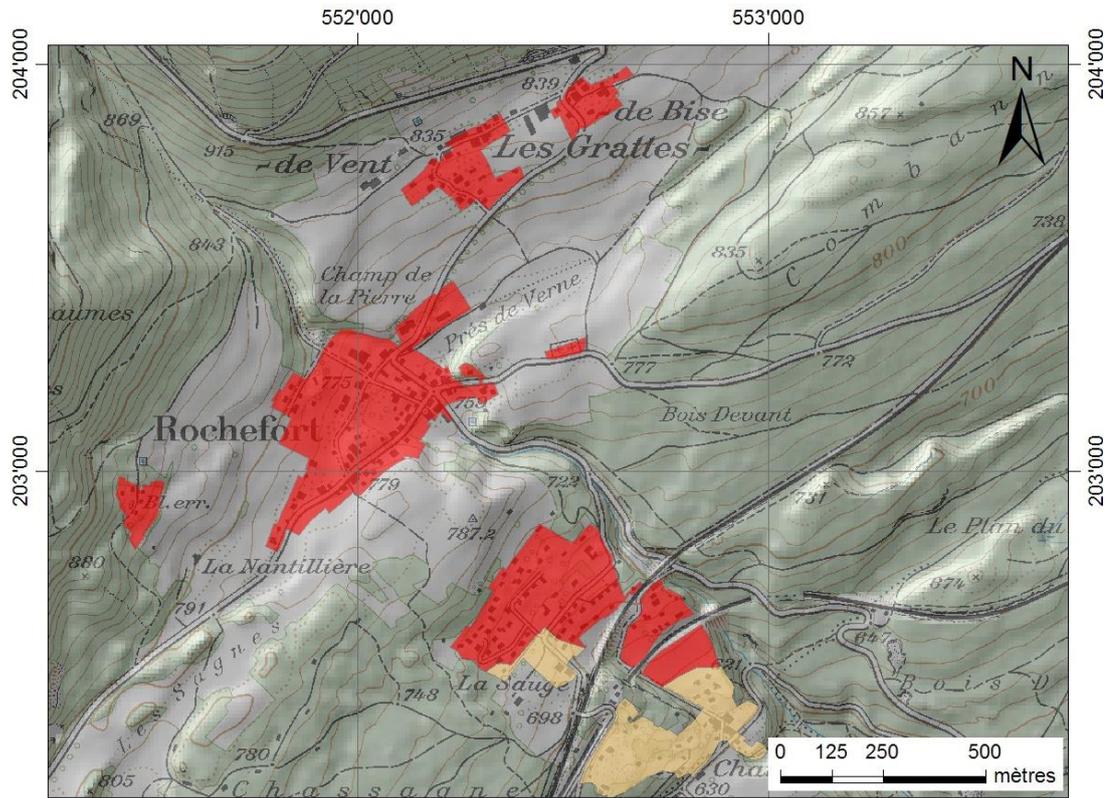




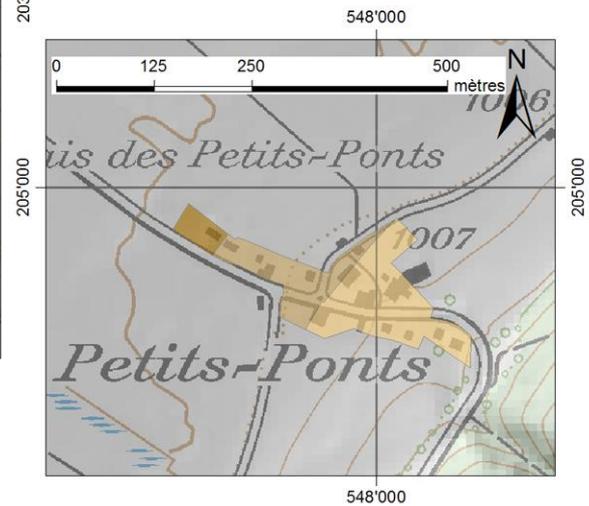
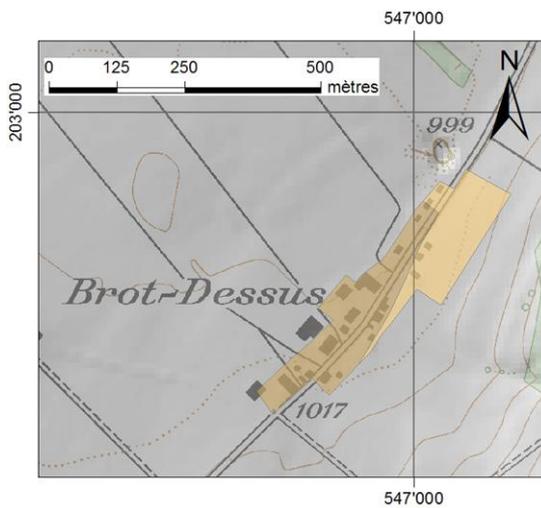
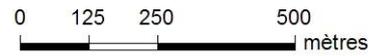
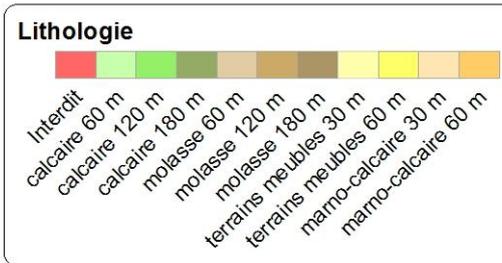
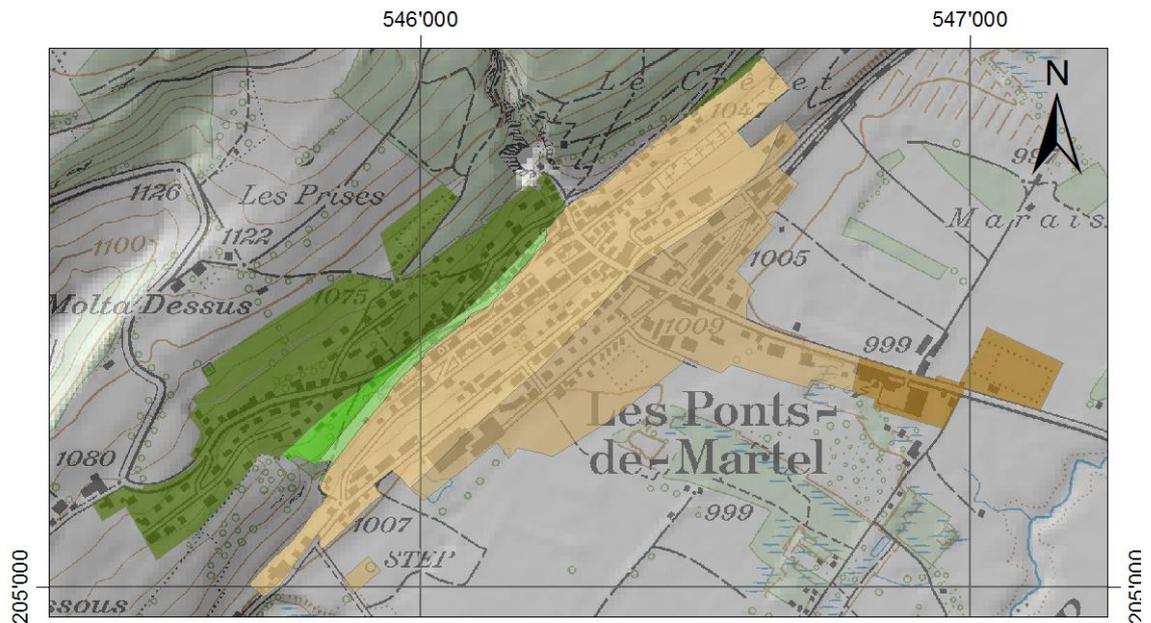


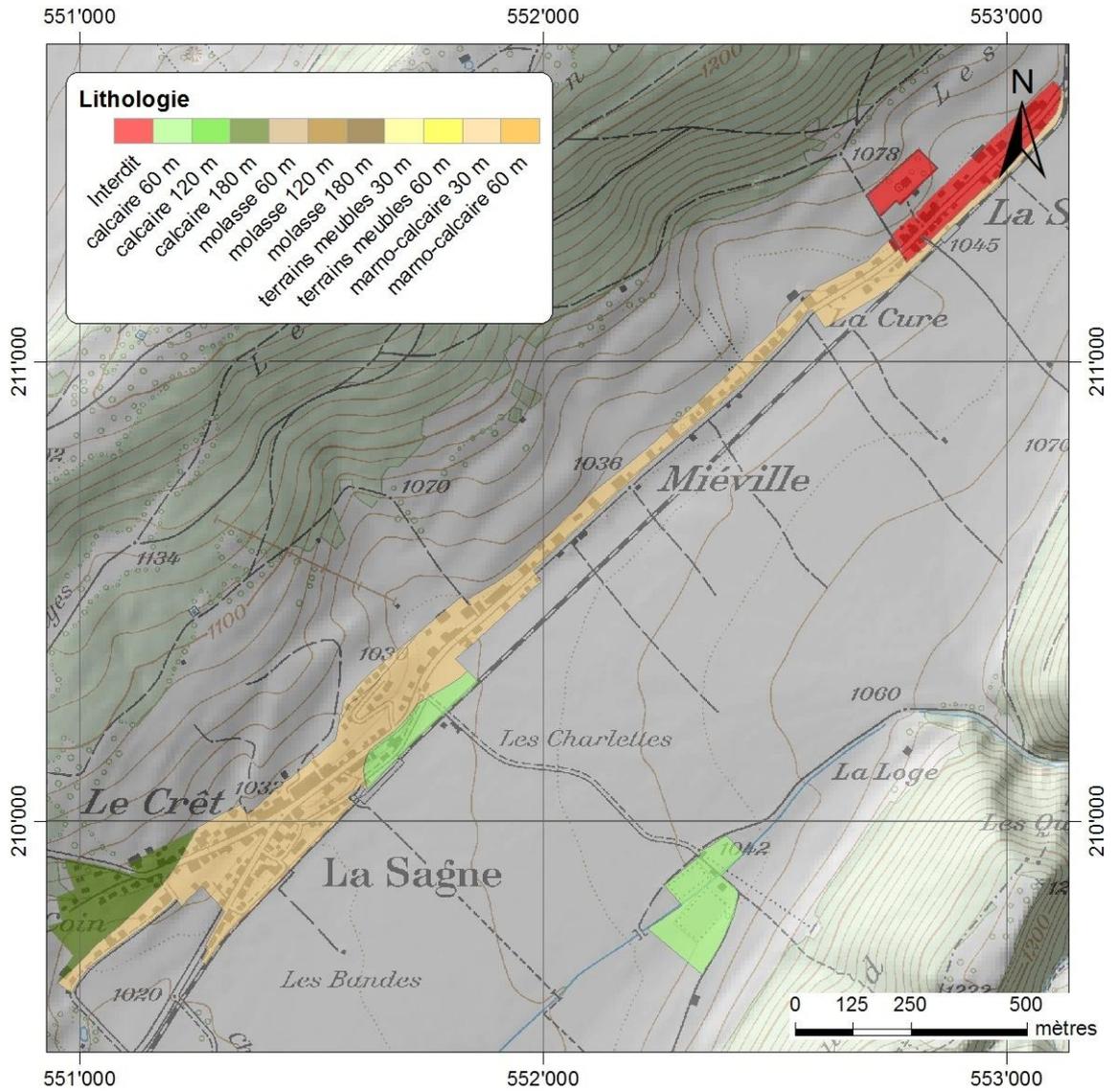




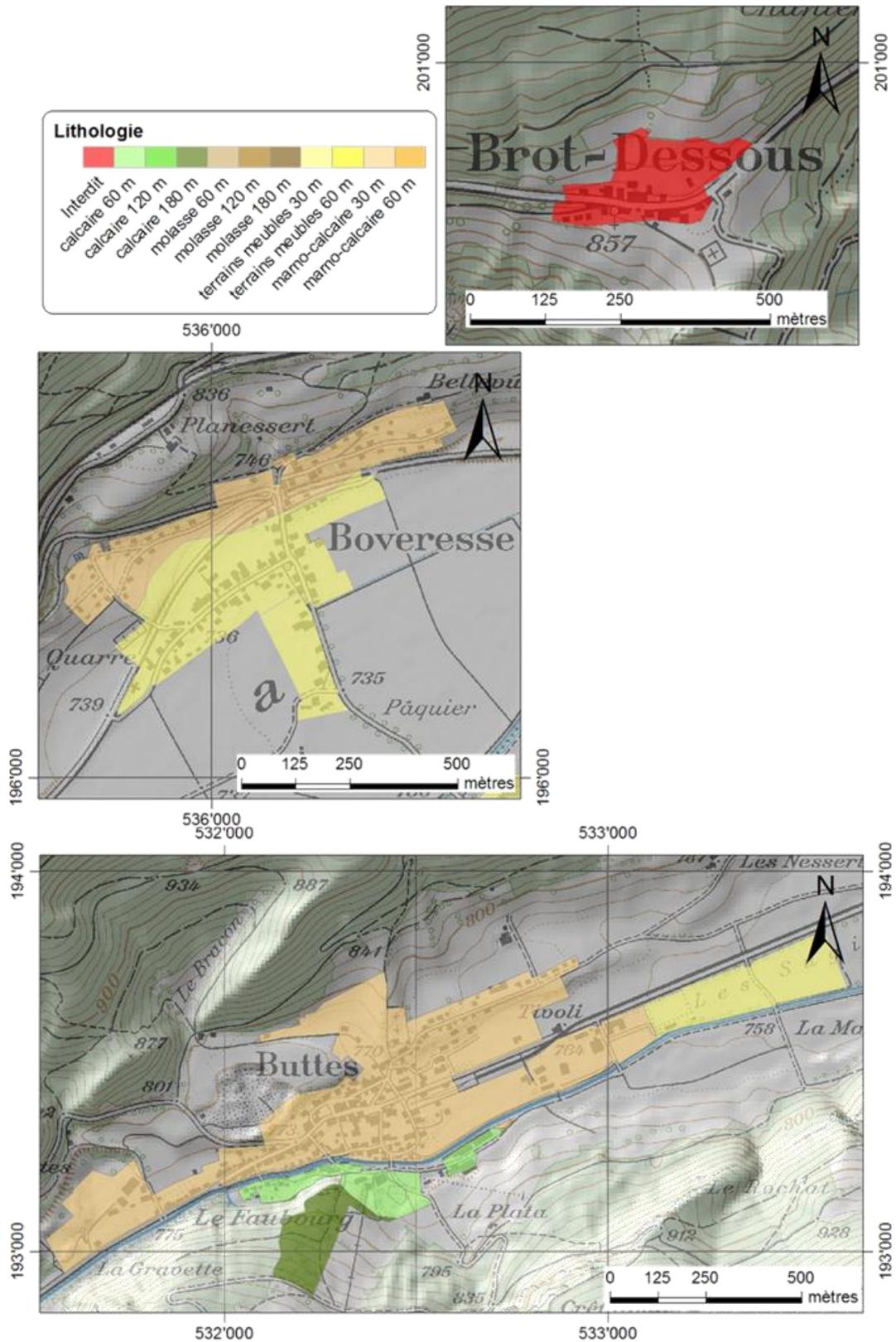


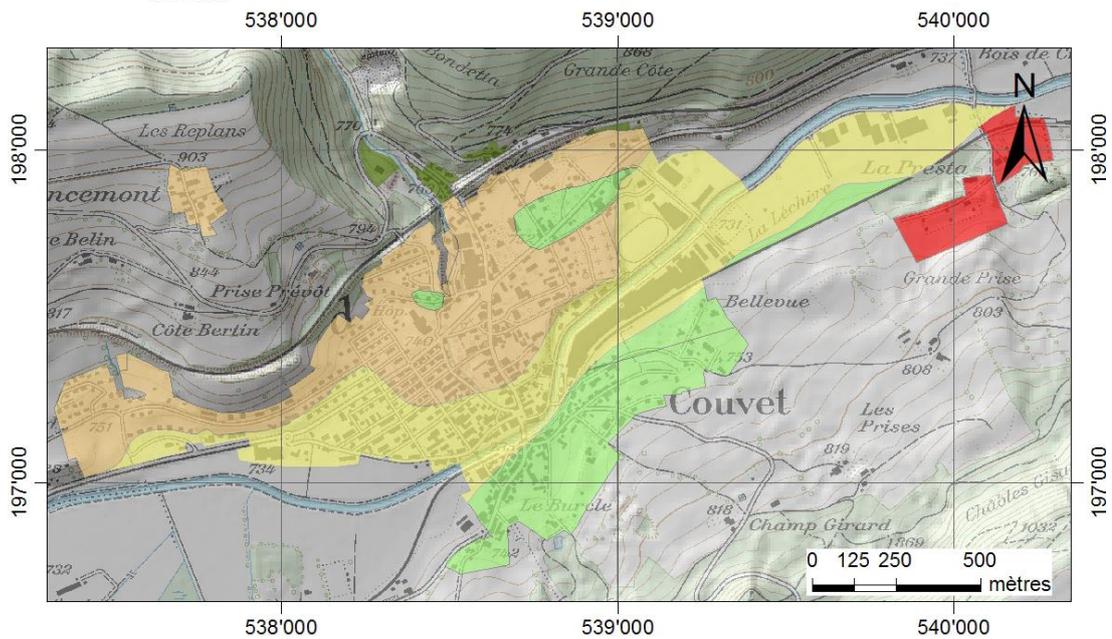
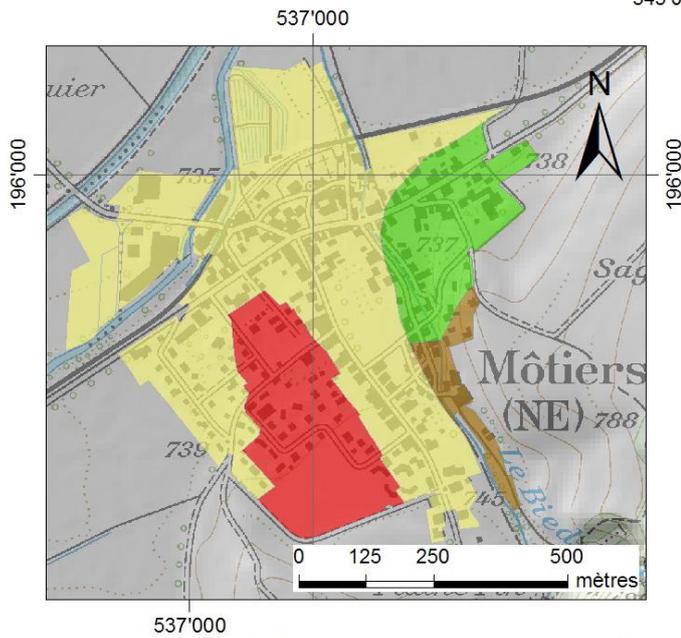
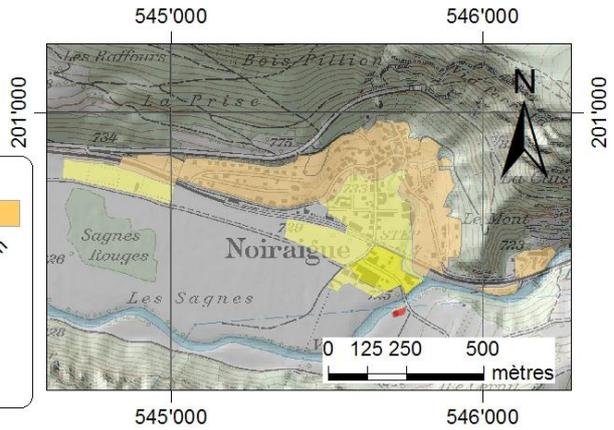
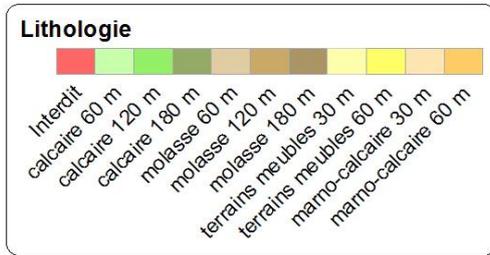
## Région climatique de la Vallée de la Sagne

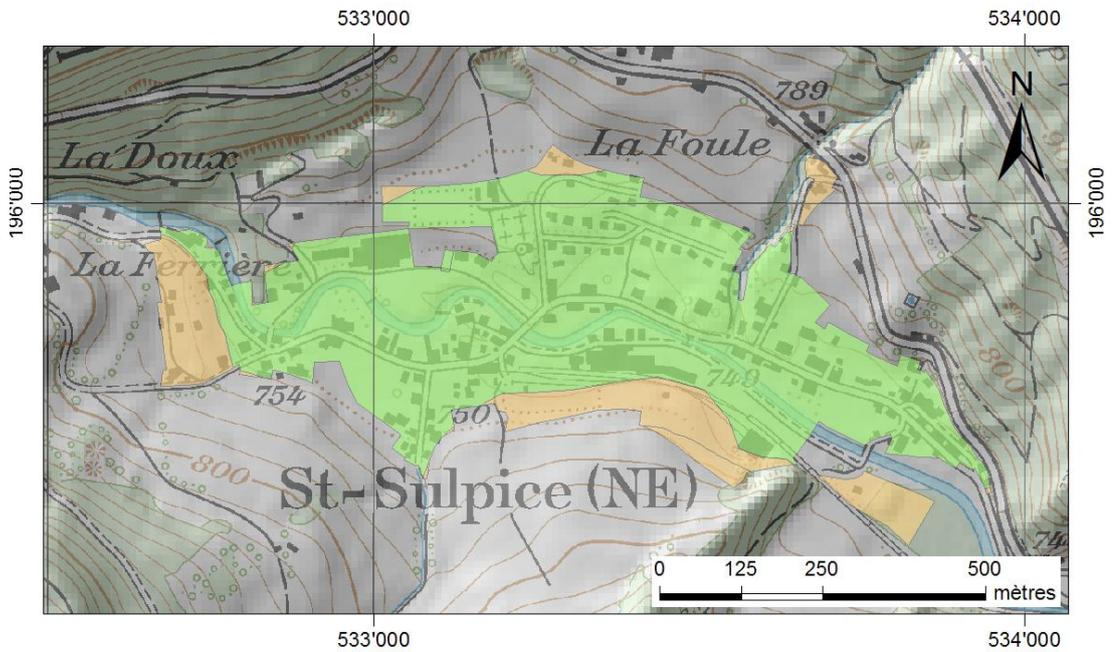
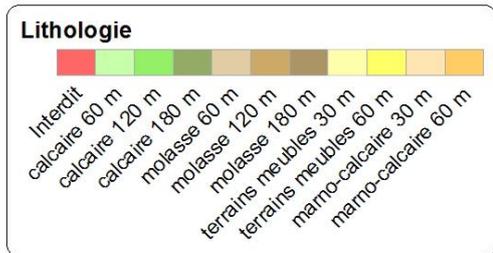
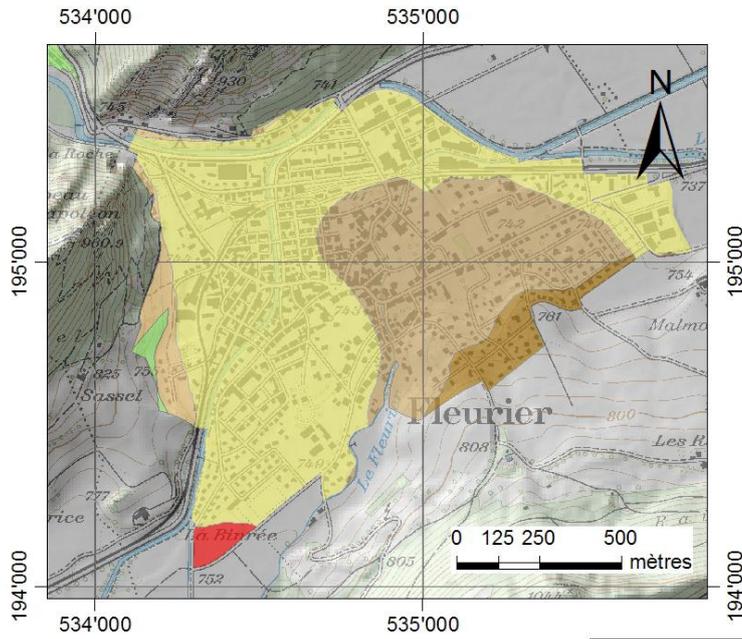


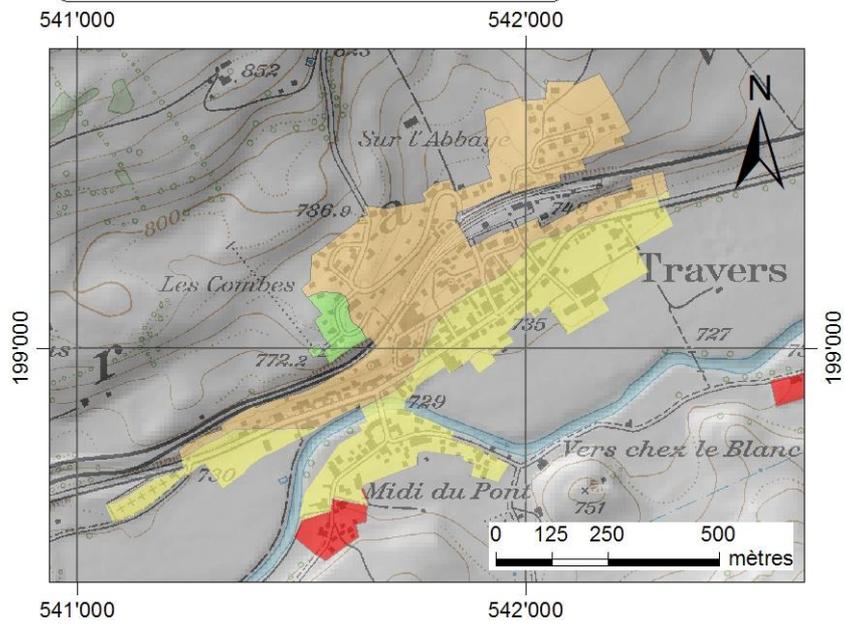
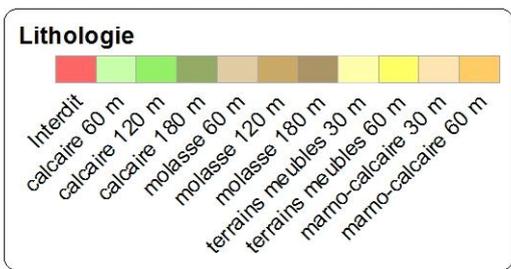
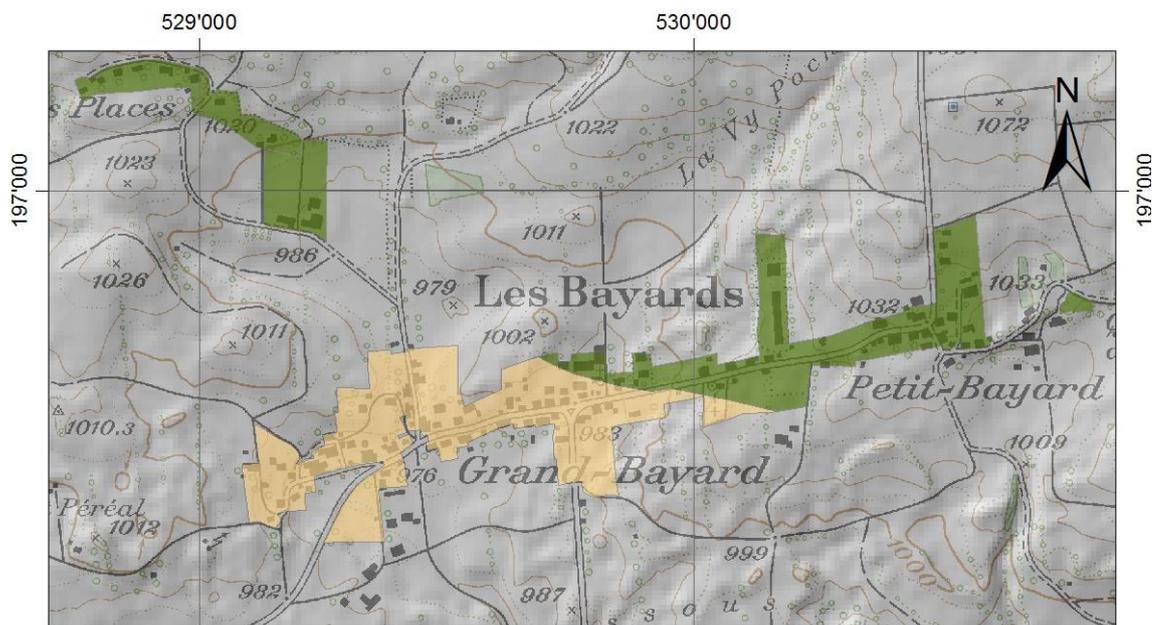


## Région climatique du Val-de-Travers









---

**Annexe 2.2**

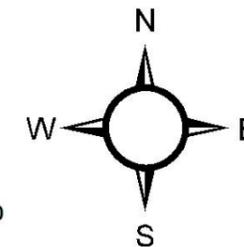
**Carte lithologique simplifiée du canton de Neuchâtel**

---



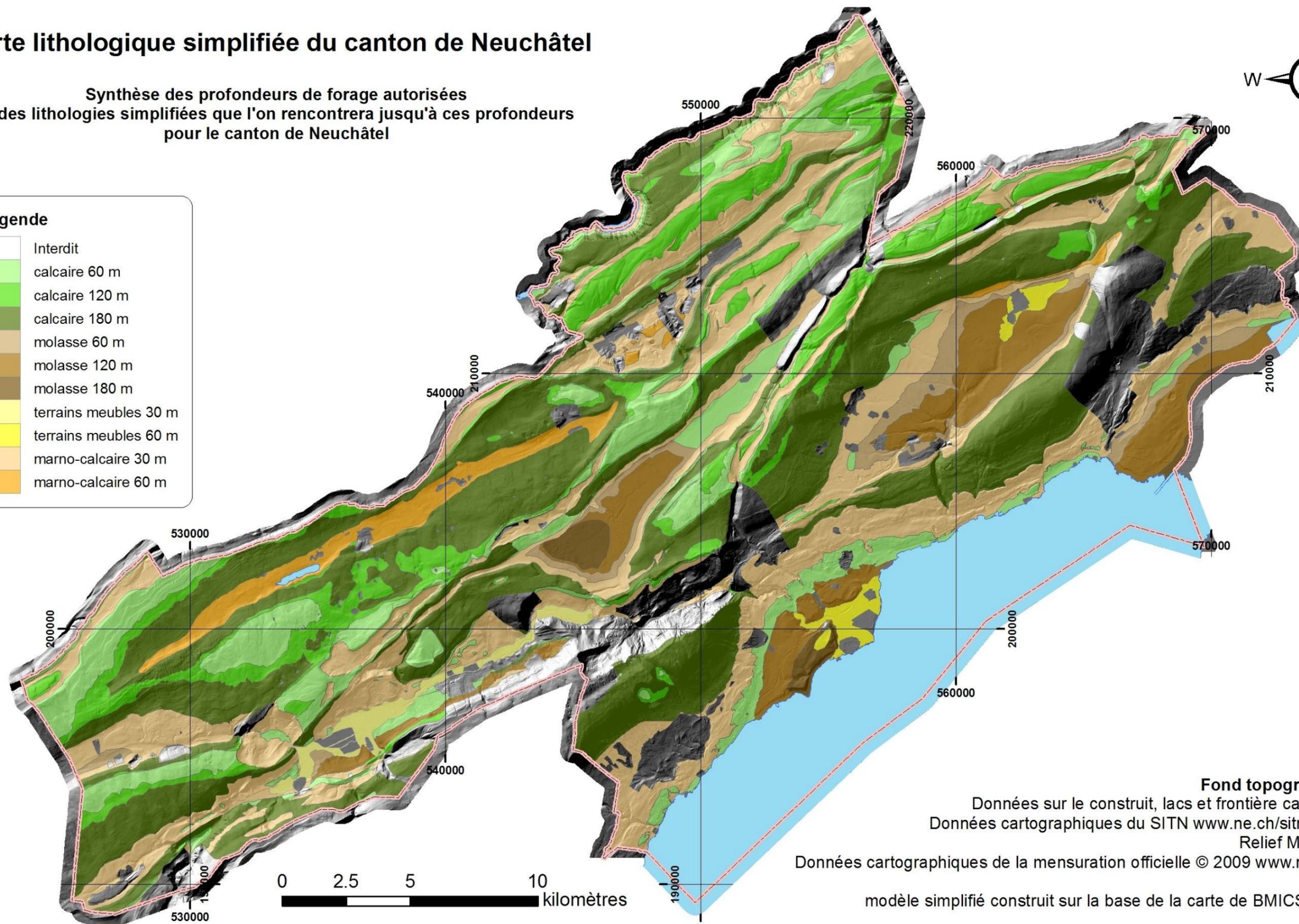
# Carte lithologique simplifiée du canton de Neuchâtel

Synthèse des profondeurs de forage autorisées  
et des lithologies simplifiées que l'on rencontrera jusqu'à ces profondeurs  
pour le canton de Neuchâtel



**Légende**

- Interdit
- calcaire 60 m
- calcaire 120 m
- calcaire 180 m
- molasse 60 m
- molasse 120 m
- molasse 180 m
- terrains meubles 30 m
- terrains meubles 60 m
- marno-calcaire 30 m
- marno-calcaire 60 m



**Fond topographique:**  
Données sur le construit, lacs et frontière cantonale :  
Données cartographiques du SITN [www.ne.ch/sitn](http://www.ne.ch/sitn) © 2009  
Relief MNT 10m :  
Données cartographiques de la mensuration officielle © 2009 [www.ne.ch/sgrf](http://www.ne.ch/sgrf)  
modèle simplifié construit sur la base de la carte de BMICSA (2007)



---

**Annexe 2.3**

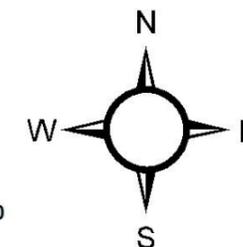
**Etat de saturation du sous-sol**

---



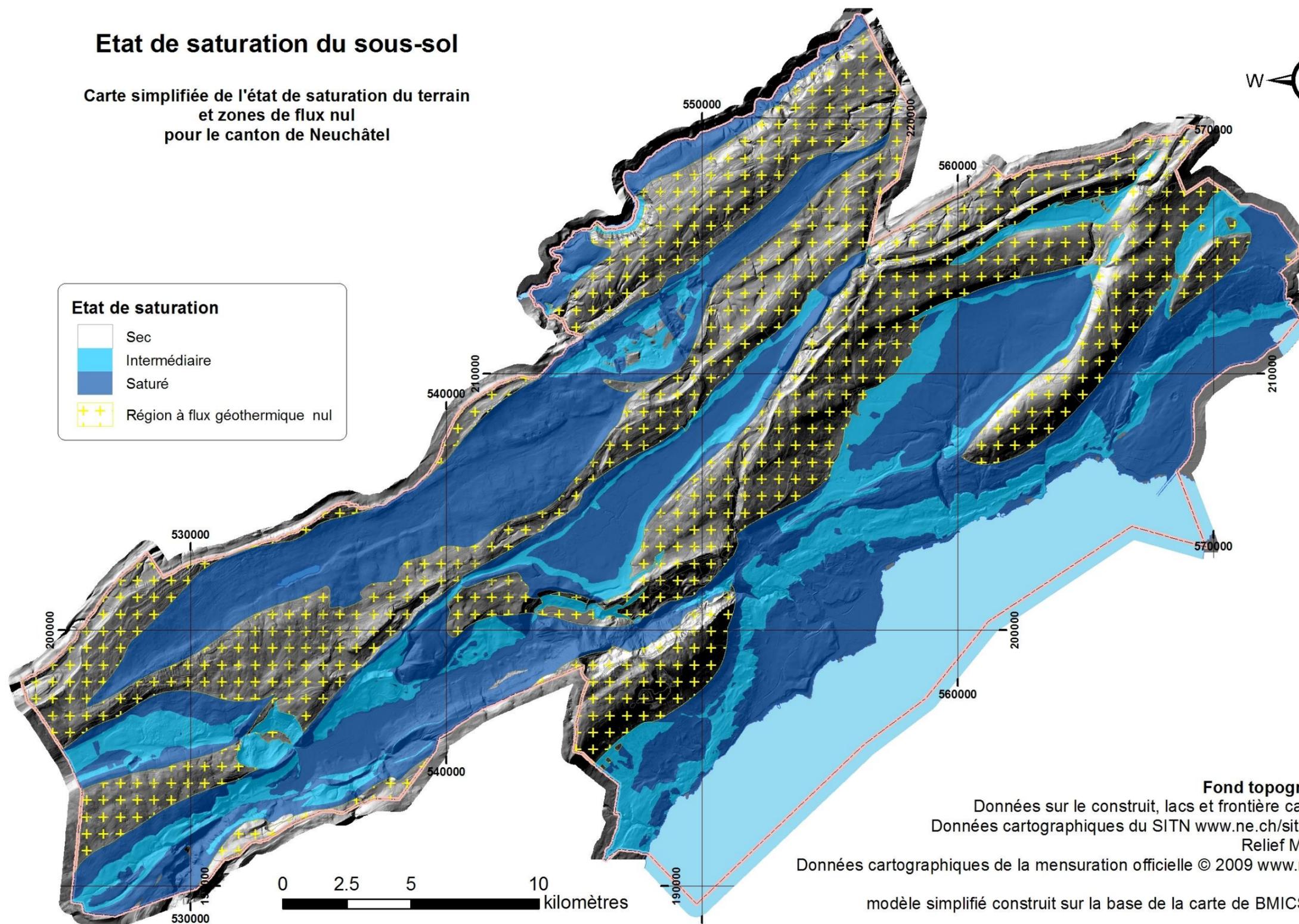
# Etat de saturation du sous-sol

Carte simplifiée de l'état de saturation du terrain  
et zones de flux nul  
pour le canton de Neuchâtel



**Etat de saturation**

- Sec
- Intermédiaire
- Saturé
- Région à flux géothermique nul



**Fond topographique:**  
Données sur le construit, lacs et frontière cantonale :  
Données cartographiques du SITN [www.ne.ch/sitn](http://www.ne.ch/sitn) © 2009  
Relief MNT 10m :  
Données cartographiques de la mensuration officielle © 2009 [www.ne.ch/sgrf](http://www.ne.ch/sgrf)  
modèle simplifié construit sur la base de la carte de BMICSA (2007)



---

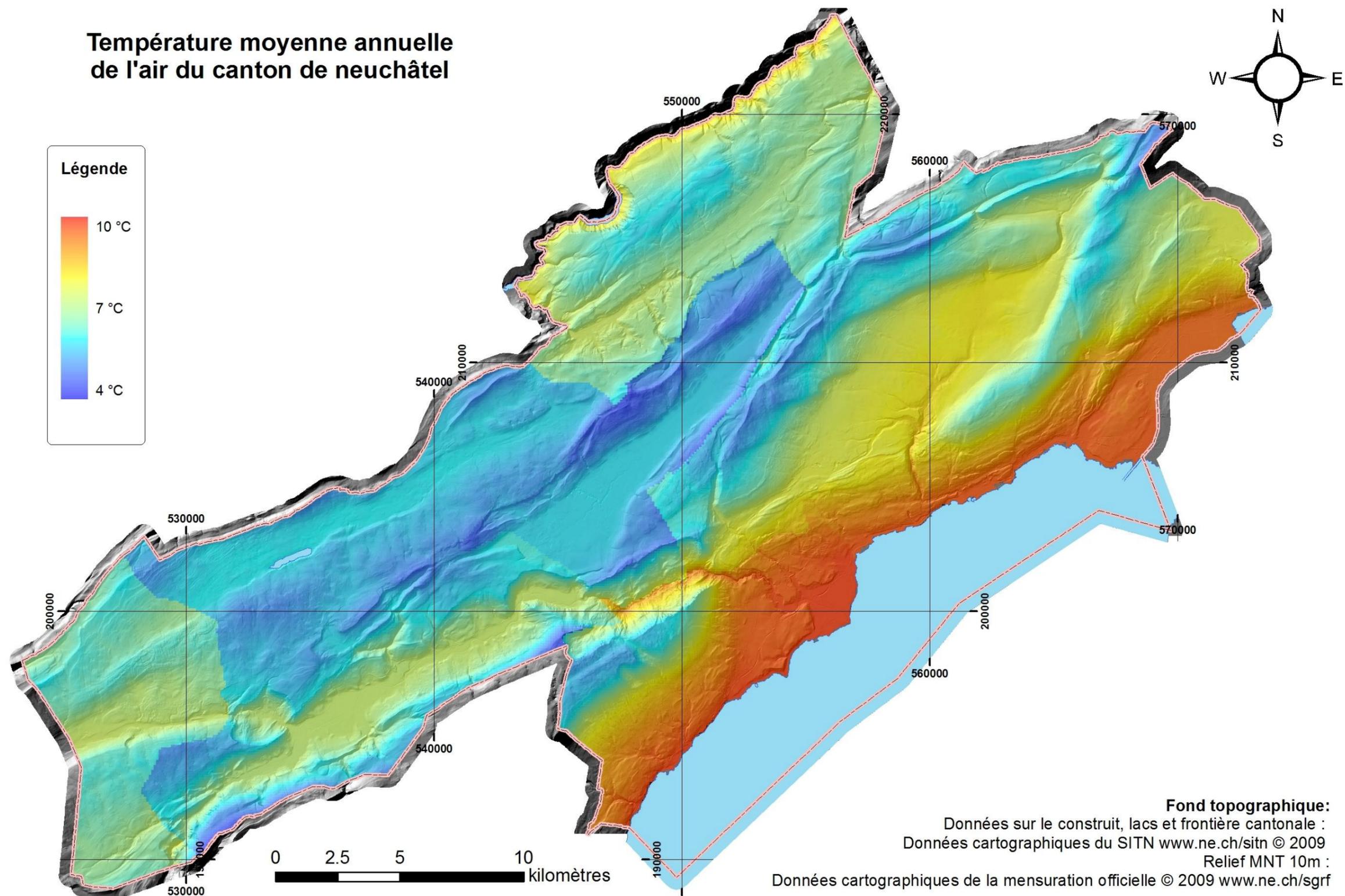
**Annexe 2.4**

**Carte des températures moyennes annuelles du  
canton**

---



# Température moyenne annuelle de l'air du canton de Neuchâtel





---

**Annexe 2.5**

**Energie annuelle exploitable par SGV et par hectare.  
Modes 1, 2 et 3**

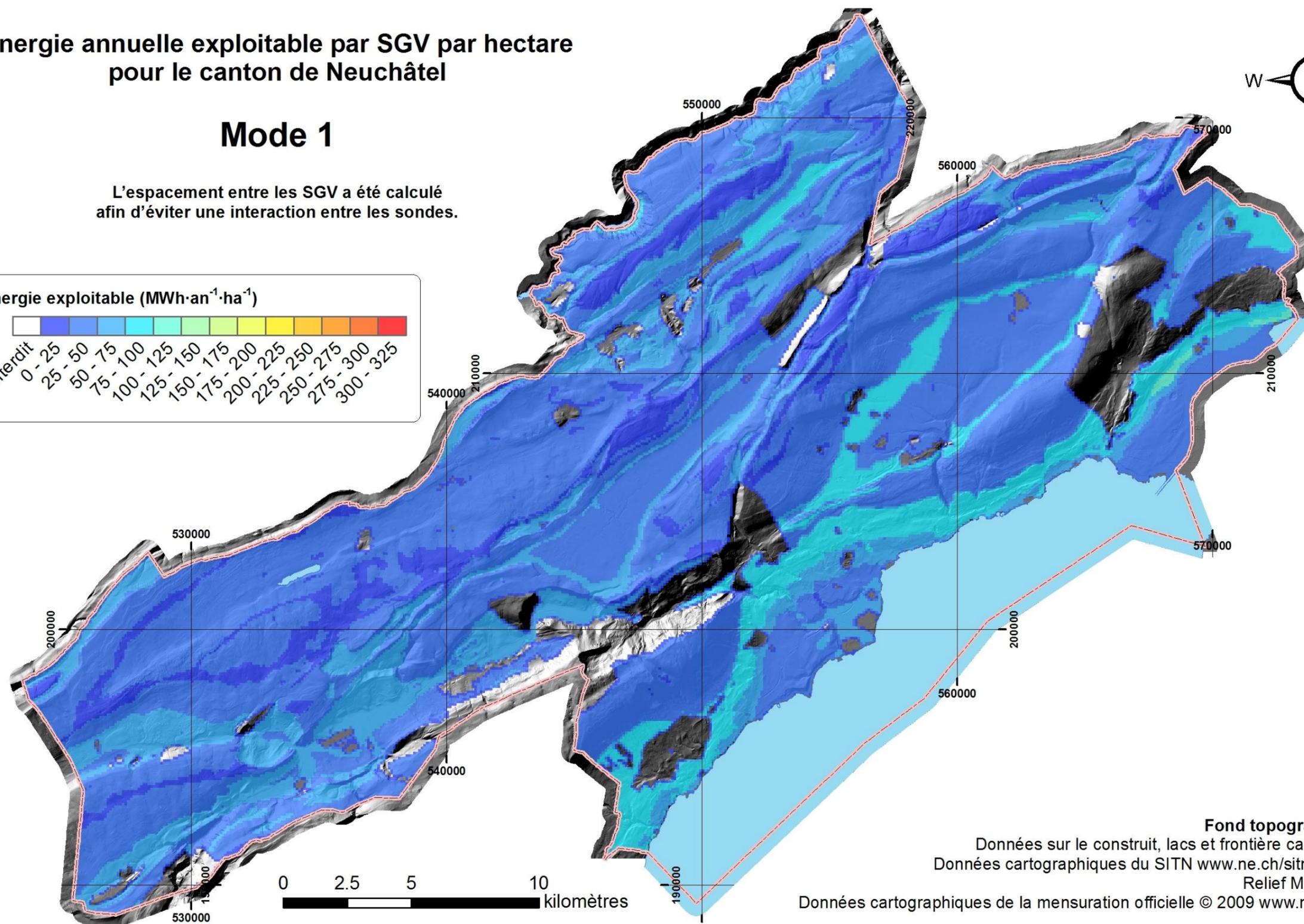
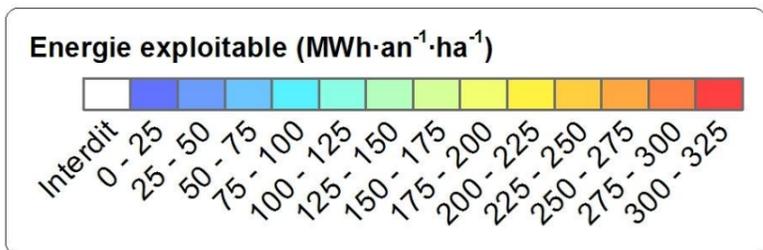
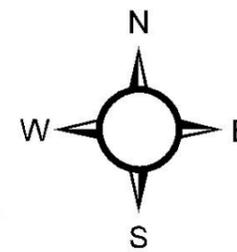
---



# Energie annuelle exploitable par SGV par hectare pour le canton de Neuchâtel

## Mode 1

L'espacement entre les SGV a été calculé afin d'éviter une interaction entre les sondes.

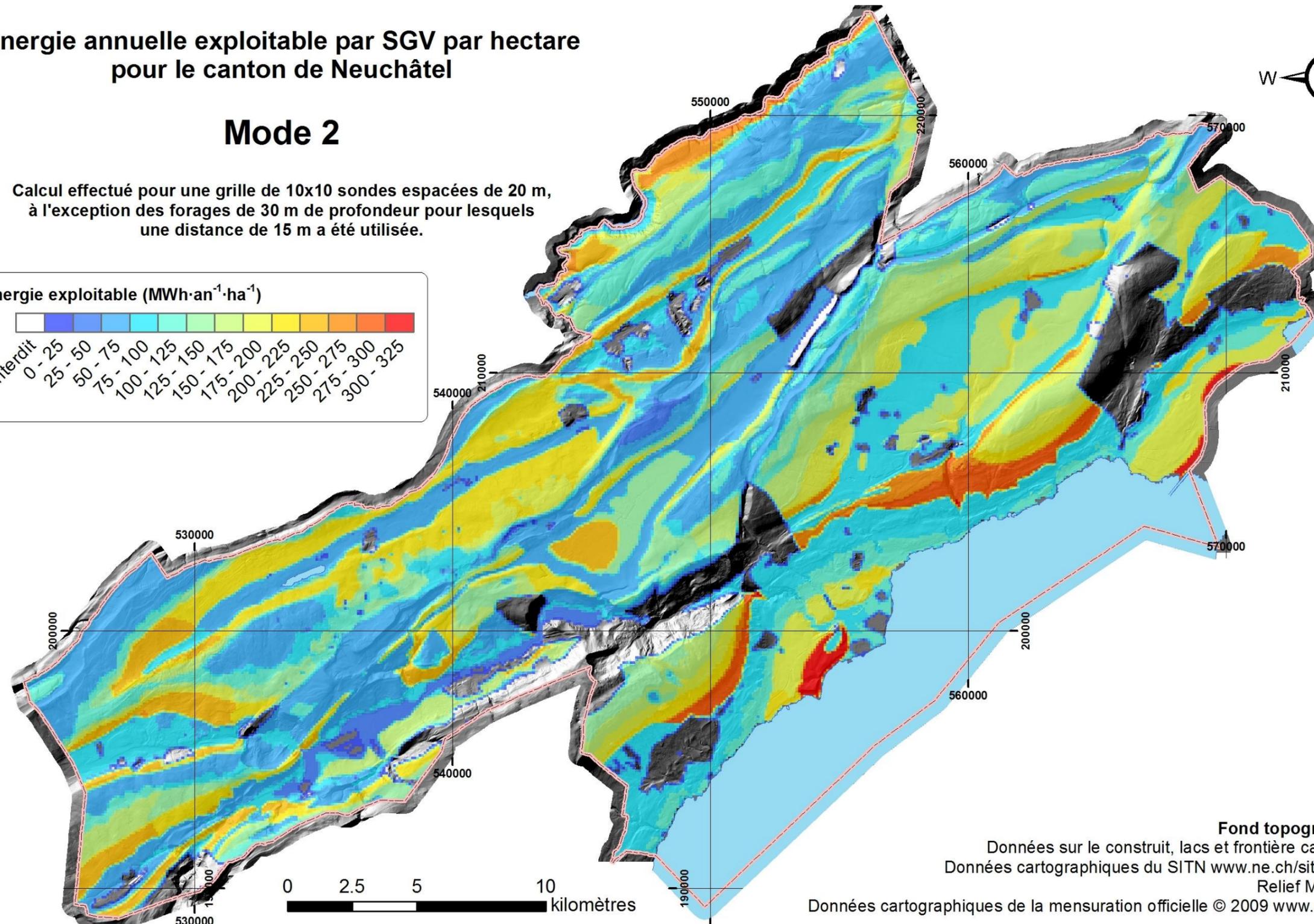
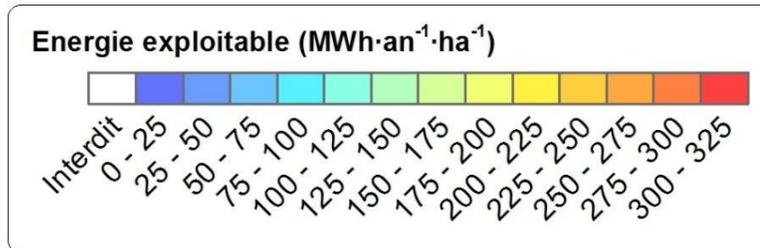
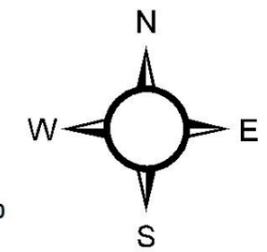


**Fond topographique:**  
Données sur le construit, lacs et frontière cantonale :  
Données cartographiques du SITN [www.ne.ch/sitn](http://www.ne.ch/sitn) © 2009  
Relief MNT 10m :  
Données cartographiques de la mensuration officielle © 2009 [www.ne.ch/sgrf](http://www.ne.ch/sgrf)

# Energie annuelle exploitable par SGV par hectare pour le canton de Neuchâtel

## Mode 2

Calcul effectué pour une grille de 10x10 sondes espacées de 20 m, à l'exception des forages de 30 m de profondeur pour lesquels une distance de 15 m a été utilisée.

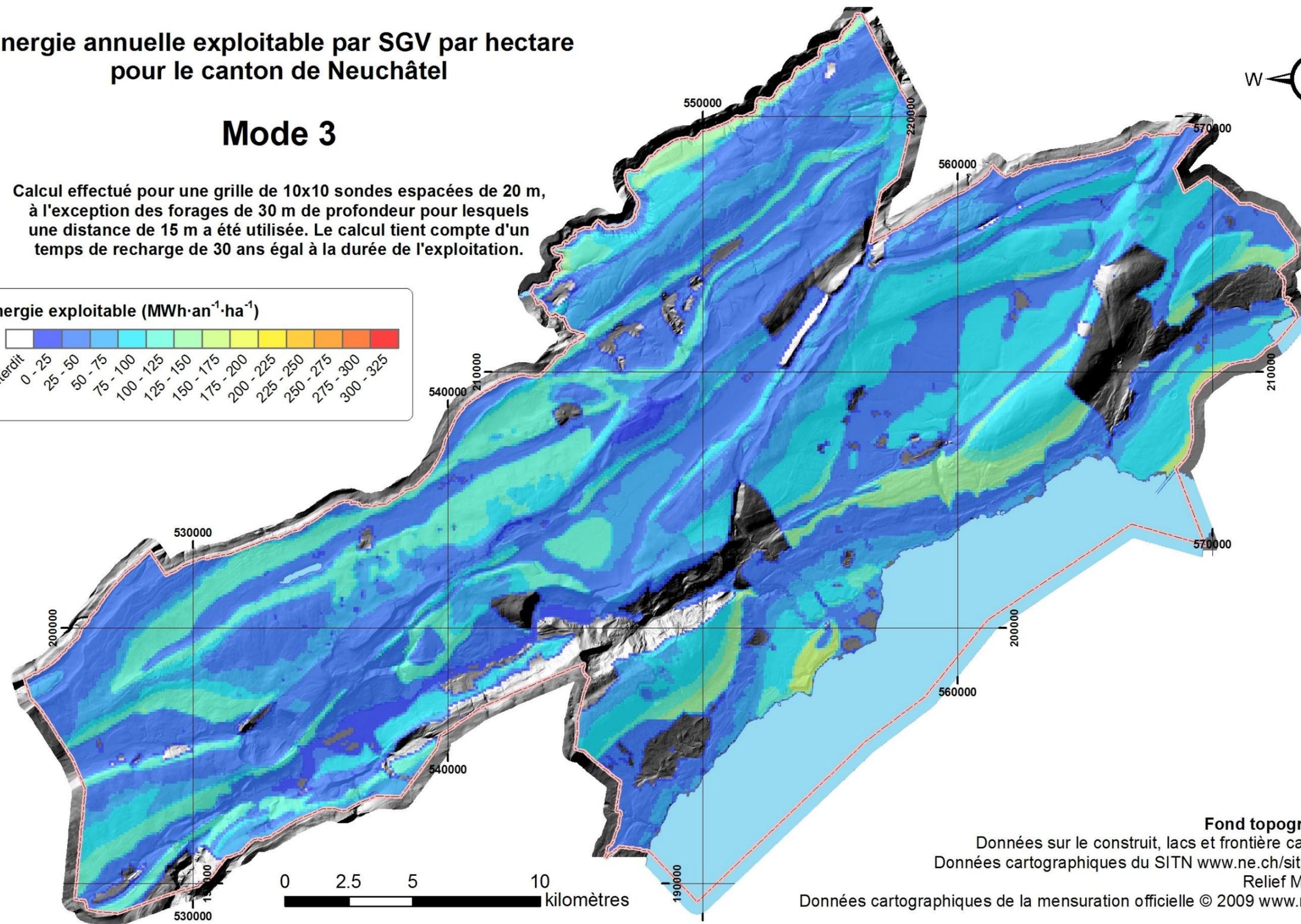
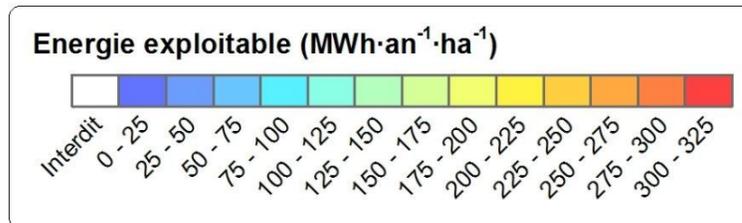
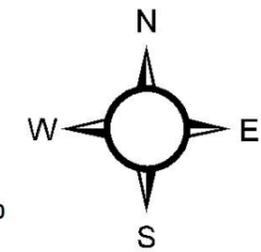


Fond topographique:  
Données sur le construit, lacs et frontière cantonale :  
Données cartographiques du SITN [www.ne.ch/sitn](http://www.ne.ch/sitn) © 2009  
Relief MNT 10m :  
Données cartographiques de la mensuration officielle © 2009 [www.ne.ch/sgrf](http://www.ne.ch/sgrf)

# Energie annuelle exploitable par SGV par hectare pour le canton de Neuchâtel

## Mode 3

Calcul effectué pour une grille de 10x10 sondes espacées de 20 m, à l'exception des forages de 30 m de profondeur pour lesquels une distance de 15 m a été utilisée. Le calcul tient compte d'un temps de recharge de 30 ans égal à la durée de l'exploitation.



**Fond topographique:**  
Données sur le construit, lacs et frontière cantonale :  
Données cartographiques du SITN [www.ne.ch/sitn](http://www.ne.ch/sitn) © 2009  
Relief MNT 10m :  
Données cartographiques de la mensuration officielle © 2009 [www.ne.ch/sgrf](http://www.ne.ch/sgrf)



---

## **Annexe 2.6**

# **Guide d'aide au dimensionnement des ouvrages de petite dimension et procédures d'autorisation dans le canton de Neuchâtel**

---

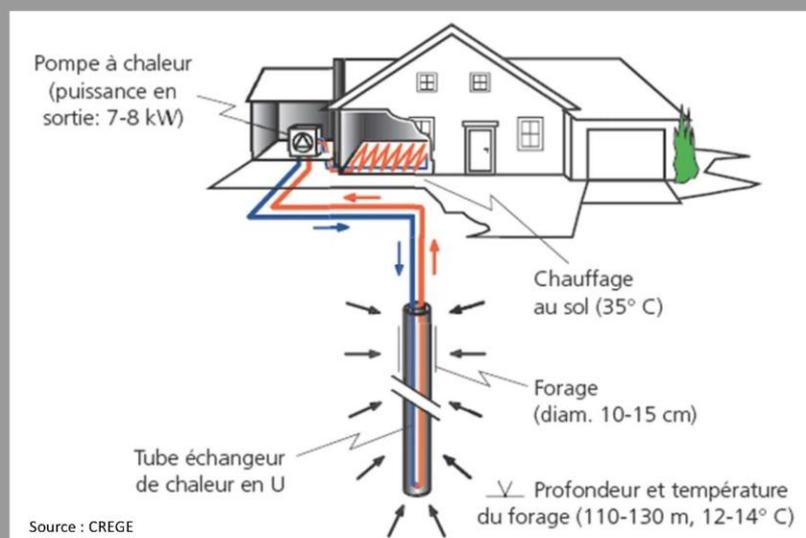
---

## Programme cantonal de développement de la géothermie à Neuchâtel

---

### Sondes géothermiques verticales :

Guide d'aide au dimensionnement des ouvrages de petite dimension et procédures d'autorisation dans le Canton de Neuchâtel



Novembre 2009

**Document établi par :**

Groupement PDGN,  
Marc Affolter,  
Bernard Matthey Ingénieurs-Conseils S.A.  
La Grande-Fin 19  
2037 Montezillon

**Commande du document :**

InfoEnergie@ne.ch 032 889 47 26

ou téléchargeable sur

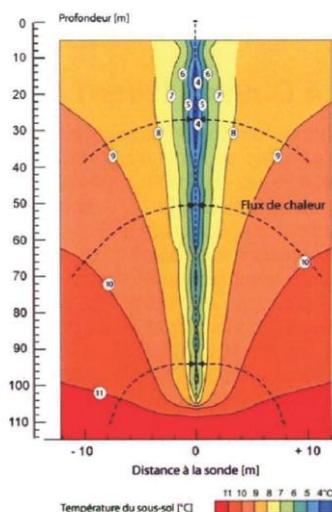
[www.ne.ch/energie](http://www.ne.ch/energie) Rubrique : Information, Formation et Conseils

## 1. Objectifs

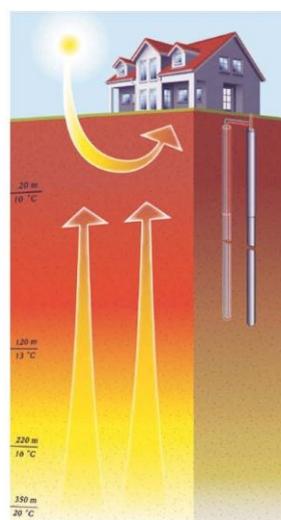
- L'utilisation de sondes géothermiques verticales pour l'alimentation de pompes à chaleur (PAC) est en fort développement en Suisse et dans le canton de Neuchâtel. Le soutien à une utilisation de la chaleur du sous-sol s'inscrit dans la politique cantonale énergétique et environnementale.
- Le guide d'aide au dimensionnement a pour objectif de promouvoir l'utilisation de la chaleur du sous-sol par sondes géothermiques verticales et d'informer les utilisateurs (entreprises, propriétaires, professionnels actifs dans le domaine de l'énergie) sur les principes d'exploitation et les règles de dimensionnement particulières à la géologie du Canton de Neuchâtel.

## 2. Principe de fonctionnement

- L'exploitation de la chaleur du sous-sol par sondes géothermiques verticales pour l'alimentation d'une pompe à chaleur est le système le plus répandu en Suisse. En 2005, ce mode d'exploitation géothermique représentait le 77% de l'énergie géothermique exploitée en Suisse. Dans le canton de Neuchâtel, environ 300 installations ont été réalisées (état en 2009).
- A partir de 10 à 20 m de profondeur, la température du sous-sol est stable tout au long de l'année et plus élevée de 1°C environ que la température moyenne annuelle de l'air à l'altitude considérée. La température du terrain augmente ensuite progressivement sous l'influence du gradient géothermique (en moyenne 3°C/100 m). En surface, le rayonnement solaire influence la température du sous-sol jusqu'à environ 20 m de profondeur.



Profil dans le terrain illustrant l'influence d'une sonde géothermique verticale sur la température du sous-sol (Rybach 2001).



Température du sous-sol en fonction de la profondeur. Influence du flux géothermique et du rayonnement solaire moyen. (Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, HLUg, Wiesbaden)

- Les sondes géothermiques soutirent la chaleur du sous-sol par échange thermique. Elles sont constituées le plus souvent de tubes en double U en PE Ø 32 mm dans lesquels on fait circuler un liquide caloporteur (généralement un mélange eau-glycol). Après s'être réchauffé dans le terrain, le fluide est



refroidi de 3-4°C dans l'évaporateur de la PAC. La PAC permet de valoriser l'énergie géothermique de basse température en assurant le chauffage des bâtiments, de préférence par chauffage au sol basse température, mais aussi pour la production d'eau chaude sanitaire.

- Pour une installation standard la profondeur des forages peut varier de 30 à 200 m, avec un diamètre foré de 130 à 200 mm. Une fois les sondes posées dans le forage, l'espace entre le forage et les sondes est comblé par l'injection d'un ciment à prise hydraulique. Ceci permet d'assurer un bon contact thermique entre la sonde et le terrain et évite le risque d'infiltration d'eau indésirable le long des tubes échangeurs.
- Avec une installation de qualité et correctement dimensionnée, le sous-sol fournit environ 70% de l'énergie thermique à la sortie de la pompe à chaleur. Le 30% restant est fourni à la pompe à chaleur sous forme d'électricité.

### 3. Procédure d'autorisation

---

#### 3.1 Bases légales

---

- Les bases légales suivantes sont applicables pour l'implantation des sondes géothermiques verticales :
  - Loi sur la protection de l'environnement du 7 octobre 1983 (LPE, RS 814.01)
  - Loi fédérale sur la protection des eaux du 24 janvier 1991 (LEaux, RS 814.20)
  - Loi cantonale sur les eaux du 24 mars 1953 (LCE, RS 731.101)
  - Loi cantonale sur la protection des eaux du 12 octobre 1984 (LCPE, 805.10)
- En raison notamment du risque de porter atteinte aux eaux souterraines, la réalisation de forages pour sondes géothermiques verticales est soumise à autorisation (décision spéciale) du Département de la gestion du territoire.

#### 3.2 Demande de préavis

---

- Il existe de nombreuses restrictions sur les possibilités d'implantations de sondes géothermiques verticales. Dans les secteurs autorisés, la profondeur de forage est limitée. Les restrictions sont d'ordre légal, géologique ou liées à l'environnement construit. Le requérant pourra se renseigner sur les possibilités de réaliser son projet en consultant :
  - La carte fixant les limites d'utilisation de la chaleur du sol par sondes géothermiques verticales (SGV) sur le territoire du canton de Neuchâtel sur : <http://sitn.ne.ch/index.html> (en préparation)
  - Cette information peut être obtenue auprès du Service cantonal de la protection de l'environnement (SCPE), Rue du Tombet 24, 2034 Peseux tel. 032 889 67 30, [service.protectionEnvironnement@ne.ch](mailto:service.protectionEnvironnement@ne.ch)

#### 3.3 Demande d'autorisation

---

- Elle se fait par l'intermédiaire du formulaire EN-NE60. Les documents demandés ainsi que les instructions d'envoi sont détaillés sur le formulaire EN-NE60 utilisation de pompe à chaleur (PAC) de la République et canton de Neuchâtel. Le formulaire est disponible sous :
    - > [www.ne.ch/energie](http://www.ne.ch/energie) rubrique "Police des constructions"
    - > [www.endk.ch](http://www.endk.ch) rubrique "Professionnels"
- Le formulaire EN-NE60 est transmis :
- > En cas de transformation de l'installation de chauffage, au Service cantonal de l'énergie
  - > En cas de demande de permis de construire elle fait partie intégrante du dossier de demande de permis de construire et suivra la même procédure que cette dernière
- Les travaux de forage ne peuvent pas être engagés avant la réception par le requérant de l'autorisation de forage (décision spéciale) du Département de la gestion du territoire.

### 3.4 Principe général en matière de restrictions

---

- Les restrictions établies sur l'ensemble du territoire neuchâtelois ont été déterminées de manière détaillée et concertée, de manière à préserver l'environnement et en particulier les ressources en eau souterraine.
- La carte fixant les limites d'utilisation de la chaleur du sol par sondes géothermiques verticales sur le territoire du Canton de Neuchâtel délimite les régions où l'implantation de sondes géothermiques verticales est interdite ou autorisée.
- Dans les régions autorisées, elle fixe la profondeur maximale autorisée de chaque forage, à partir de critères géologiques et hydrogéologiques.
- La carte ne renseigne pas sur les éventuelles restrictions locales, dues par exemple à la présence de droits privés existants (le droit des tiers reste préservé). Elle n'a donc pas valeur de référence juridique pour l'octroi ou le refus d'une autorisation de forage par l'autorité au moment du dépôt du permis de construire.

### 3.5 Critères de restriction dans le canton de Neuchâtel

---

Le territoire du canton de Neuchâtel est subdivisé en trois régions (carte disponible sur <http://sitn.ne.ch/index.html>) :

1. **Régions où l'implantation de sondes géothermiques verticales est strictement interdite**
  - Projet situé en zone S de protection des captages d'eau souterraine (S1, S2 et S3).
  - Présence d'ouvrages souterrains (galeries, tunnels) sous le site d'implantation des sondes.
  - Présence ou proximité de sites pollués à l'aplomb du site prévu pour le forage.
  - Remarque : les zones sujettes à des glissements de terrain et éboulements ainsi que les zones de dangers liées aux inondations n'étant pas encore connues de manière définitive, elles ne sont pas encore intégrées dans les zones interdites.
2. **Régions où l'implantation de sondes géothermiques verticales est interdite. Une dérogation est possible sous certaines conditions**
  - Risque de porter atteinte aux nappes d'eau souterraine et de modifier les écoulements souterrains. Le canton de Neuchâtel est constitué d'une alternance de couches calcaires (souvent aquifères) et de couches marneuses (imperméables). Pour préserver au mieux tant d'atteintes qualitatives et quantitatives les eaux souterraines (qui couvrent le 90% de nos besoins en eau de boisson) il est important de ne pas altérer les couches imperméables (marnes) qui les protègent. La mise en contact de deux unités aquifères superposées par un forage est une atteinte irréparable et définitive. La carte fixant les possibilités de forages est un outil qui permet de déterminer la faisabilité d'un forage dans le respect de la protection des eaux.
  - Possibilité de rencontrer en cours de forage de l'eau souterraine sous pression (artésianisme), avec les risques que cela comporte pour la ressource en eau souterraine et les difficultés techniques que cela représente pour contenir la pression d'eau souterraine.
  - Caractéristiques des terrains traversés pouvant se révéler particulièrement problématiques pour la réalisation de forages.



©BMICSA  
*Venue d'eau souterraine sous pression - ou artésienne - le long d'un forage pour sondes géothermiques verticales, Val-de-Travers 2006.*



©BMICSA  
*Difficultés d'avancement et limitation technique de la profondeur de forage en raison des caractéristiques des terrains rencontrés (limons très fins saturés en eau).*

### 3. Régions où l'implantation de sondes géothermiques verticales est autorisée, avec limitation de la profondeur

- Dans les secteurs autorisés, la profondeur de forage est limitée à 60, 120 ou 180 m.
- En respectant les profondeurs prescrites, on évitera en principe les situations problématiques décrites plus haut. En raison de l'hétérogénéité et la diversité du sous-sol, les imprévus d'ordre géologique (cavités karstiques, venues d'eaux artésiennes locales, terrains instables) ne sont pas exclus.

### 3.6 Dérogation

- Dans les régions où l'implantation de sondes géothermiques est strictement interdite, **aucune dérogation n'est accordée**. Les services compétents se tiennent à disposition du requérant pour suggérer une solution alternative à l'alimentation de la pompe à chaleur ou un autre mode de production de chaleur.
- En cas de dépassement souhaité de la profondeur maximale prescrite ainsi qu'en région interdite avec dérogation possible, l'autorité compétente pourra octroyer une **autorisation exceptionnelle** sur la base d'une étude complémentaire avec coupe géologique prévisionnelle, justifiant l'absence de risque hydrogéologique et fixant la profondeur maximale des forages. En cas d'acceptation du projet, l'autorité pourra exiger un suivi géologique en cours de forage par un géologue diplômé aux compétences reconnues.

### 3.7 Annonce et transmission des données géologiques de forage

- La date d'exécution doit être annoncée au Service cantonal de la protection de l'environnement et au géologue avant le début des forages.
- Un relevé géologique commenté est obligatoirement transmis au SCPE. Celui-ci sera établi par un géologue diplômé sur la base des cuttings prélevés tous les 2 m par l'entreprise de forage. Un standard de qualité sera exigé.
- En cas d'événement exceptionnel (artésianisme, rencontre d'ouvrage souterrain ou de formation géologique non prévue), le requérant, l'entreprise de forage et le géologue informeront immédiatement le Service cantonal de la protection de l'environnement (tel. 032 889 67 30) et proposeront les mesures qu'ils entendent appliquer pour remédier aux dommages et rétablir de façon durable la situation antérieure.



## 4. Dimensionnement des sondes géothermiques verticales

---

### 4.1 Importance d'une installation réalisée dans les règles de l'art

---

Les principes de dimensionnement et d'exécution sont détaillée dans des recommandations (OFEV, 2009 ; AWP, 1996 ; SIA D025 ; VDI 4640). Dès 2009 la norme SIA 384/6 impose des obligations générales à la réalisation de sondes géothermiques verticales. On formulera en particulier les recommandations et exigences suivantes :

#### Rôle des professionnels

---

- Le forage et la pose des sondes sont réalisés par des entreprises spécialisées répondant à des critères de qualité. Le Groupement promotionnel suisse pour les pompes à chaleur – Centre d'information pour les pompes à chaleur décerne un certificat de qualité aux entreprises qui satisfont à ces exigences.

Liste des entreprises de forages certifiées en Suisse : [www.pac.ch](http://www.pac.ch)

- Les caractéristiques thermiques des roches traversées par le forage et leur état de saturation en eau jouent un rôle essentiel pour le dimensionnement de la longueur des sondes. Le calcul de la longueur de sonde adéquate en fonction de la puissance thermique de la PAC doit être fait par un professionnel selon les règles de l'art et en fonction des conditions géologiques locales.

#### Puissance délivrée par mètre de sonde et longueur de sondes nécessaire

---

- La puissance thermique pouvant être fournie par mètre de sonde dépend de facteurs :
  - **Géologiques**, comme la nature des roches traversées et leur état de saturation en eau, la présence d'eau souterraine en mouvement, la valeur du flux géothermiques et l'altitude du forage (température initiale du terrain).
  - **Liés aux caractéristiques et à la géométrie de l'installation**, comme la durées de fonctionnement annuelle, l'agencement des forages (nombre, profondeur et espacement). La puissance fournie par le système peut être considérablement améliorée avec une recharge thermique estivale, par capteurs solaires thermiques ou rafraîchissement des locaux.
  - **Liés aux caractéristiques de la sonde**, comme la qualité du ciment de remplissage (conductivité thermique et résistance mécanique), le diamètre de la sonde, l'espacement suffisant entre les tubes aller et retour (utilisation de distanceurs).
- Un sous-dimensionnement de la longueur des sondes aura pour conséquence une baisse excessive de la température des sondes, avec une diminution du rendement de l'installation (surconsommation d'électricité). Dans les cas les plus extrêmes, cela pourra provoquer un gel des sondes et du sous-sol, et un affaissement du terrain au moment du dégel.
- Une longueur de sonde équivalente voire supérieure aux recommandations permettra d'optimiser consommation électrique de la PAC pour une puissance de chauffage donnée. Cela se traduira par une température moyenne à l'évaporateur de la PAC plus élevée et par un meilleur coefficient de performance de la pompe à chaleur, avec, au final, une diminution des frais de fonctionnement et une plus grande durabilité de l'installation.

#### Approximations (règles du pouce)

---

- Pour de petites installations et dans des conditions cadres bien définies des règles du pouce sont proposées dans les documents de référence (p. ex AWP 1996). Ces règles ne doivent être appliquées qu'en connaissance des limitations imposées par les conditions cadre (type de roche, altitude, durée d'exploitation).

## Calcul et simulations numériques

- Un calcul détaillé ou une simulation numérique du comportement des sondes en fonction des particularités de l'installation sont recommandés.
- A partir d'une installation de 4 sondes, un dimensionnement détaillé est obligatoire (SIA 384/6). La méthode de calcul est détaillée dans la norme.
- Les logiciels spécialisés suivants permettent également de simuler de manière détaillée le comportement thermique des sondes géothermiques :

EED ([www.buildingphysics.com](http://www.buildingphysics.com)), EWS ([www.hetaq.ch](http://www.hetaq.ch)), PileSim ([www.geothermie.ch](http://www.geothermie.ch)), WPCalc-EWS ([www.hetaq.ch](http://www.hetaq.ch))

## Distance à respecter entre les sondes

- Le prélèvement de chaleur par sonde géothermique provoque un cône d'influence thermique. Dans l'absolu, le rayon d'influence de la sonde après une exploitation de plusieurs dizaines d'années est égal à la moitié de sa profondeur.
- En pratique, la distance entre les sondes doit être supérieure à 5 m (SIA 384/6) et on recommandera un espacement minimal de 7 à 8 m.

## Distance minimale à la bordure de parcelle

- Afin de limiter les influences thermiques sur les parcelles voisines, on respectera une distance de 5 m par rapport à la bordure de parcelle (directive cantonale).

## Température admissible dans les sondes

- La température minimale dans les sondes au mois de février (moyenne du fluide caloporteur entre aller et retour) ne doit pas être inférieure à -1.5 °C. En pratique, pour gagner en efficacité énergétique, on recommande de prévoir une longueur de sonde suffisante pour ne pas descendre en-dessous de 0°C.

## Qualité du ciment de remplissage

- Le ciment de remplissage doit répondre à des critères de résistance mécanique et de durabilité. Le rendement de la sonde (énergie soutirable) dépend fortement de la conductivité thermique du ciment de remplissage. On recommande l'utilisation de ciment conducteur ( $\lambda \geq 2$  W/m\*K) et de bonne résistance mécanique.

## Optimisation

- Afin d'augmenter l'efficacité de la sonde, on préconise l'utilisation de distanceurs entre les tubes aller et retour.

## Fluides caloporteurs

- Les produits contenant les substances de base suivantes conviennent comme agents caloporteurs. Dans les fluides caloporteurs, aucune substance peu biodégradable, ni composé chloré, ni sel de métal lourd ne peut être utilisé comme additif (p. ex. comme inhibiteur de corrosion) :

|                              |                                |                          |
|------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| - propylène glycol           | - éthylène glycol              | - polyéthylène glycol    |
| - alcool éthylique (éthanol) | - alcool méthylique (méthanol) | - chlorure de calcium    |
| - chlorure de magnésium      | - chlorure de potassium        | - carbonate de potassium |
| - acétate de potassium       | - formiate de potassium        | - chlorure de sodium     |
| - carbonate de sodium        |                                |                          |

- L'installation doit être pourvue d'un dispositif automatique de surveillance des fuites.

## Vitesse de circulation dans les sondes

- La vitesse du fluide caloporteur circulant dans les sondes a une influence sur le rendement de l'installation. Lorsque le débit est suffisant pour que le fluide entre en régime turbulent, l'échange avec

la paroi de la sonde et le terrain sera nettement amélioré. Dans la pratique, on recherchera le début du régime turbulent en adaptant la configuration des sondes, disposées en parallèle ou en série, tout en limitant les pertes de charge et la puissance de la pompe de circulation. Pour un tube PE Ø 32 mm, avec utilisation de monopropylène glycol 33%, la vitesse devrait être  $\geq 0.7$  m/s pour atteindre le régime turbulent.

- Les fluides peu visqueux, comme l'eau, le méthanol, le carbonate de potassium 25-33% et le chlorure de calcium sont intéressants car ils entrent plus facilement en régime turbulent.

#### 4.2 Impact thermique des sondes à long terme

- La ressource en chaleur du sous-sol est limitée. Les interactions possibles avec des installations voisines de prélèvement de chaleur/froid doivent être prises en considération, et ceci particulièrement en milieu urbain. Le requérant se renseignera sur la présence d'ouvrages existants aux abords du lieu d'implantation de(s) la sonde(s). En cas d'interaction possible et/ou de prélèvements thermiques supérieurs à la capacité de régénération saisonnière du sous-sol, le requérant proposera toute mesure utile pour compléter, régénérer et sauvegarder la ressource géothermique.
- Une installation standard correctement dimensionnée provoque un abaissement moyen de 1 à 4 °C de la température du terrain à proximité immédiate de la sonde. Après quelques années d'exploitation, le système atteint un équilibre et la température se stabilise. Cette baisse de température pourra entraîner une légère baisse du coefficient de performance et une augmentation des coûts d'exploitation. Les résultats de simulation indiquent qu'il faudrait arrêter l'installation sur une durée égale à la période d'exploitation (p.ex. 50 ans) pour que le terrain retrouve sa température initiale. Cette règle ne s'applique pas aux systèmes utilisant un système de recharge thermique et en présence d'une nappe souterraine active.
- La durée de vie prévue des sondes est de 50 ans (SIA 384/6) alors que celle des PAC sera d'environ 20 ans. En prévoyant une longueur de sonde supplémentaire, on pourra dans 20 ans satisfaire à la demande thermique de PAC à meilleurs coefficients de performance.

#### 4.3 Règles de dimensionnement particulières au canton de Neuchâtel

##### Conductivité thermique des roches

En dehors des restrictions citées plus haut, la grande majorité des roches que l'on rencontre dans le sous-sol neuchâtelois ont des caractéristiques favorables à l'implantation de sondes géothermiques verticales. Les terrains sont constitués en majorité de roches marno-calcaires, en partie de molasse tertiaire (grès, limons, argiles et craies) et de terrains meubles limités à quelques dizaines de mètres d'épaisseur (graviers, sables et limons).

| Type de roches    |                          | Conductibilité thermique W/m*K |           |
|-------------------|--------------------------|--------------------------------|-----------|
|                   |                          | Sec                            | Saturé    |
| Roches meubles    | Argile                   | 0,2 - 0,3                      | 1,2 - 1,6 |
|                   | Limon                    | 0,2 - 0,3                      | 1,4 - 2,5 |
|                   | Sable                    | 0,3 - 0,4                      | 2,0 - 3,2 |
|                   | Gravier                  | 0,3 - 0,4                      | 2,5 - 3,3 |
| Roches cohérentes | Calcaire (non fracturés) | 2,8 - 3,3                      | 2,8 - 3,3 |
|                   | Mame                     | 1,5 - 1,8                      | 2,3 - 2,9 |
|                   | Grès                     | 1,8 - 3,5                      | 2,3 - 4,0 |
|                   | Dolomie                  | 2,8 - 3,8                      | 3,5 - 4,5 |

Conductibilité thermique des roches : Tables et documents divers. Documents SIA D025 et D0136

## Calcul de la puissance soutirable et longueur des sondes

La table suivante, donnée à titre d'exemple, permet de calculer la puissance maximum soutirable par mètre de sonde en double U en fonction de la conductibilité thermique des roches et des caractéristiques de l'installation.

| Conductivité thermique du terrain<br>$\lambda$ (W/mK) | Puissance maximum soutirable du terrain en Watts par mètre de sonde en double U (sonde unique altitude 400 m.s.m.) |                                   |   |                                   |
|---|--|-----------------------------------|---|-----------------------------------|
|   | Avec production d'eau chaude<br>2'200 heures par an  |                                   | Sans production d'eau chaude<br>1'800 heures par an |                                   |
|   | Sans nappe souterraine   | Avec une nappe souterraine active | Sans nappe souterraine                              | Avec une nappe souterraine active |
| 1.0   | 29.8   | 35.0                              | 31.6  | 36.6                              |
| 1.1   | 30.9   | 36.2                              | 32.8  | 37.8                              |
| 1.2   | 32.1   | 37.3                              | 34.0  | 39.0                              |
| 1.3   | 33.2   | 38.5                              | 35.1  | 40.2                              |
| 1.4   | 34.2   | 39.6                              | 36.2  | 41.3                              |
| 1.5   | 35.3   | 40.6                              | 37.3  | 42.4                              |
| 1.6   | 36.3   | 41.7                              | 38.4  | 43.4                              |
| 1.7   | 37.3   | 42.7                              | 39.4  | 44.5                              |
| 1.8   | 38.3   | 43.8                              | 40.5  | 45.6                              |
| 1.9   | 39.4   | 44.8                              | 41.6  | 46.7                              |
| 2.0   | 40.4   | 45.8                              | 42.6  | 47.7                              |
| 2.1   | 41.4   | 46.8                              | 43.7  | 48.7                              |
| 2.2   | 42.4   | 47.8                              | 44.7  | 49.7                              |
| 2.3   | 43.4   | 48.8                              | 45.6  | 50.7                              |
| 2.4   | 44.3   | 49.7                              | 46.6  | 51.6                              |
| 2.5   | 45.3   | 50.6                              | 47.6  | 52.5                              |
| 2.6   | 46.2   | 51.5                              | 48.5  | 53.4                              |
| 2.7   | 47.1   | 52.4                              | 49.4  | 54.3                              |
| 2.8   | 47.9   | 53.3                              | 50.3  | 55.1                              |
| 2.9   | 48.8   | 54.0                              | 51.2  | 55.9                              |
| 3.0   | 49.7   | 54.8                              | 52.0  | 56.7                              |
| 3.1   | 50.5   | 55.6                              | 52.9  | 57.5                              |
| 3.2   | 51.3   | 56.4                              | 53.7  | 58.3                              |
| 3.3   | 52.1   | 57.2                              | 54.7  | 59.1                              |
| 3.4   | 52.9   | 57.8                              | 55.3  | 59.8                              |
| 3.5   | 53.7   | 58.6                              | 56.3  | 60.5                              |
| 3.6   | 54.4   | 59.3                              | 56.8  | 61.1                              |
| 3.7   | 55.2   | 60.0                              | 57.5  | 64.7                              |
| 3.8   | 55.9   | 60.6                              | 58.3  | 65.5                              |
| 3.9   | 56.6   | 61.2                              | 59.0  | 63.1                              |
| 4.0   | 57.3   | 61.7                              | 59.7  | 63.7                              |

Référence B Sanner, D-35390 Giessen, en utilisant le modèle de calcul EED.

- Ces valeurs sont le résultat de simulation avec le logiciel EED et sont applicables à des installations d'une puissance de chauffage de l'ordre de 10 kW ou inférieures à une altitude correspondant au Bas du canton.
- Le calcul est valable pour une sonde unique exécutée dans les règles de l'art selon les conditions précitées. Il n'est pas tenu compte d'interactions entre des sondes en terre qui s'influenceraient mutuellement.



- Dans le cas d'installations de puissance supérieure à 10 kW, en particulier dans le cas d'immeubles locatifs bien isolés, un surdimensionnement des sondes est nécessaire pour couvrir la part de la production d'eau chaude qui devient prépondérante.
- Considérer que ces valeurs sont des maxima qui ne doivent pas être dépassées. En cas de doute, choisir la conductivité thermique la plus basse.

Exemple :

|  |                     |
|--|---------------------|
| Puissance de la PAC  | 8.5 kW              |
| COP de la PAC  | 3.5                 |
| Puissance extraite du terrain                                | 6.1 kW soit 6'100 W |
| Conductivité du terrain<br>(marnes et calcaires non saturés) | 2.2 W/mK            |
| Eau souterraine en mouvement                                 | non                 |
| Production d'eau chaude sanitaire                            | oui                 |
| Puissance nominale selon table                               | 42.4 W/m            |
| Longueur de la sonde (6'100/42.4)                            | 144 mètres          |

### Altitude de l'installation et température moyenne de l'air

- Le canton de Neuchâtel est constitué de régions aux caractéristiques climatiques différentes. La durée de la période de chauffage doit être prise en compte dans le dimensionnement de l'installation (nombre et répartition des degrés-jour).
- La température moyenne annuelle de l'air influence la température du sous-sol à une profondeur donnée. Ce facteur a une très grande influence sur le dimensionnement des sondes.
- Pour des sondes uniques de 30 à 180 m de profondeur, il convient de réduire la puissance exploitable par mètre de sonde de **-2.5 à -3.0 W/m** par degré d'abaissement de la température annuelle moyenne de l'air par rapport à une installation dans le Bas du canton. Cet abaissement est d'environ 0.55 degrés par 100 m d'altitude. Un calcul précis devrait être effectué en utilisant la norme SIA 384/6 ou un logiciel spécialisé.
- Pour une petite installation, l'adaptation de longueur des sondes sera de **~+25 %** à la Chaux-de-fonds et de **~+35 %** à la Brévine.

| Emplacement de l'installation et température moyenne de l'air | Adaptation de la puissance exploitable par rapport à une sonde implantée dans le bas du canton (indicatif) | Adaptation de la longueur de sonde nécessaire en fonction de l'altitude de l'installation (indicatif) |
|---|--|---|
|   | W/m  | %   |
| Neuchâtel (10.2 °C)   | 0.0  | 0   |
| La Chaux-de-Fonds (7.1°C)                                     | - 9.3  | +25   |
| La Brévine (5.8°C)  | -13.2  | +35   |

*Effet de la température annuelle moyenne sur le dimensionnement de la longueur des sondes Résultats de simulation EED. Calcul pour une sonde unique en double U, approximation pour une installation de faible puissance.*

### Rendement réduit des sondes dans les massifs calcaires

- Les reliefs du canton sont souvent constitués de massifs calcaires dont une partie de la chaleur est drainée et évacuée par les sources karstiques. Dans certains secteurs, le flux géothermiques est réduit et l'élévation de la température avec la profondeur est quasiment nulle jusqu'à une profondeur de quelques centaines de mètres.
- Pour des petites installations implantées dans ces conditions, avec forages de 30 à 120 m de profondeur, on comptera une longueur de sonde supplémentaire de l'ordre de **+15%**.
- Pour les forages plus profonds que 120 m, la longueur de sonde supplémentaire peut atteindre **+30%**.

- Les régions où il faut tenir compte d'une réduction du flux géothermique sont en général situées sur les reliefs, en dehors des zones densément peuplées. Pour s'informer si l'on doit tenir compte de cet effet dans le dimensionnement de l'installation, le projeteur consultera un spécialiste du sous-sol.

### Sondes multiples

---

- La multiplication du nombre de sondes exigera que l'on maintienne une distance suffisante entre les sondes afin d'éviter la surexploitation thermiques et que l'on revoie à la baisse la puissance extraite par mètre de sonde. Dans le cas de champs de sondes, le stockage de chaleur-ou la recharge thermique durant l'été est la règle et permet d'augmenter la puissance extraite du terrain en hiver.

## 5. Contacts et documentation

---

### Recherche d'informations, conseils et documentation

---

- Service cantonal de la protection de l'environnement (SCPE), Rue du Tombet 24, 2034 Peseux tel. 032 889 67 30, [service.protectionEnvironnement@ne.ch](mailto:service.protectionEnvironnement@ne.ch)
- Centre de conseils InfoEnergie du canton de Neuchâtel : tel. 032 889 47 26, [InfoEnergie@ne.ch](mailto:InfoEnergie@ne.ch)
- Service cantonal de l'énergie (SCEN) :  
Tivoli 16, 2000 Neuchâtel, tel. 032 889 67 20, [Service.energie@ne.ch](mailto:Service.energie@ne.ch)
- Groupement promotionnel suisse pour la pompe à chaleur : tel. 021 310 30 10, [www.pac.ch](http://www.pac.ch)
- Société suisse de géothermie : [www.geothermie.ch](http://www.geothermie.ch)
- Conférence romande des délégués à l'énergie : [www.crde.ch](http://www.crde.ch)
- Conférences des directeurs cantonaux de l'énergie : [www.endk.ch](http://www.endk.ch)
- Conseils pour des économies d'énergie : [www.energie.environnement.ch](http://www.energie.environnement.ch)
- Association Neuchâteloise d'information en matière d'énergie : [www.animenergie.ch](http://www.animenergie.ch)

### Choix des partenaires

---

- Groupement promotionnel suisse pour la pompe à chaleur : tel. 021 310 30 10, [www.pac.ch](http://www.pac.ch)  
Liste des entreprises de forage et des pompes à chaleur certifiées

### Pour en savoir plus ..

---

- Norme SIA 384/6, Sondes géothermiques. A paraître en automne/hiver 2009.
- Office fédéral de l'environnement OFEV, 2009. Exploitation de la chaleur tirée du sol et du sous-sol. Aide à l'exécution destinée aux autorités d'exécution et aux spécialistes de la géothermie.
- SIA 1988. Doc. SIA D025 Base de dimensionnement des systèmes exploitant la chaleur du sol à basse température. [www.sia.ch](http://www.sia.ch)
- SIA 2003. Doc. SIA D179. Energie aus dem Untergrund. Erdreichspeicher für modern Gebäudetechnik. [www.sia.ch](http://www.sia.ch)
- Arbeitsgemeinschaft Wärmepumpen, 1996. Merkblatt T1: Wärmepumpen-heizenanlagen mit Erdwärmesonden. AWP Zurich. Download: [www.pac.ch](http://www.pac.ch)
- VDI-Richtlinien 4640: Thermische Nutzung des Untergrundes Blätter 1-4. 2000/2001. Beuth Verlag GmbH, Berlin. [www.beuth.de](http://www.beuth.de)

---

**Annexe 2.7**

**Stockage de chaleur solaire par sondes verticales et  
couplage à une pompe à chaleur**

---

## Stockage de chaleur solaire par sondes verticales et couplage à une pompe à chaleur

Der Einbau einer elektrischen Wärmepumpe gekoppelt mit einer WKK-Anlage in der Höheren Schule Peseux (NE) führt zu beachtlichen Energieeinsparungen. Die Wärmequelle besteht aus einem unterirdischen Speicher mit einem Volumen von 29'000m<sup>3</sup>, welcher aus 30 Bohrungen von je 60 m Tiefe, ausgerüstet mit U-förmigen Rohren aufgebaut ist. Die Wärmeaufladung wird durch 306m<sup>2</sup> selektiven Sonnenkollektoren ohne Verglasung sichergestellt. Die Bilanz wäre ausgeglichen, wenn der Brennstoff (Erdgas) 6,4 Rp. pro kWh kosten würde.

L'installation dans un collège secondaire à Peseux (NE) d'une pompe à chaleur électrique couplée à un groupe chaleur-force conduit à des économies d'énergie spectaculaires. La source de chaleur est constituée d'un stock de 29'000m<sup>3</sup> formé par 30 sondes en double U de 60 mètres. La recharge est assurée par 306m<sup>2</sup> d'absorbeurs solaires sélectifs sans vitrage. Le bilan financier serait équilibré si le combustible (gaz) valait 6,4 ct par kWh.

The installation in the High School of Peseux (NE) of an electric heat pump coupled with a heat-power plant leads to spectacular energy savings. The heat source is a 29000m<sup>3</sup> underground storage consisting of 30 boreholes equipped with U-shaped tubes of 60m length each. The heat loading is provided by 306m<sup>2</sup> of selective solar absorbers without glaze. The financial balance could be reached, if the fuel (gas) costs 6,4 ct per kWh.

### Description des installations

Le collège secondaire des Coteaux à Peseux (Neuchâtel-Suisse) a été transformé et agrandi entre 1995 et 1996. Son volume est passé de 16'300 m<sup>3</sup> à 34'400 m<sup>3</sup>. Les installations de production de chaleur ont été totalement assainies et le bâtiment équipé d'une pompe à chaleur électrique couplée à un groupe chaleur-force alimenté au gaz naturel. Une chaudière à mazout à condensation assure la demande de pointe et la sécurité en cas de panne (figure 1). Les caractéristiques sont données au tableau 1.

La source de chaleur est constituée par un accumulateur de chaleur formé de 30 sondes verticales en double U de 60 m, en rocher non saturé (marno-calcaires hauteriviens), espacées de 3,8 m. Dimensions du stock : 20 m x 16 m x 60 m et le volume concerné atteint ~ 29'000 m<sup>3</sup>. Le toit du stock n'est pas isolé thermiquement, car il est implanté dans la cour du collège.

Le stock est rechargé par 306 m<sup>2</sup> d'absorbeurs solaires, plans inclinés à 10 degrés vers le SE, avec surface sélective, sans vitrage, placés en toiture. La production d'eau chaude est assurée dans l'ordre des priorités par 24 m<sup>2</sup> de collecteurs solaires avec vitrages inclinés à 45 degrés, par le désurchauffeur de la pompe à chaleur et par le circuit de chauffage.

L'agrégat «pompe à chaleur électrique + désurchauffeur + groupe chaleur force + condenseur des gaz» est appelé ici «pompe à chaleur à gaz».

La liaison groupe chaleur-force – pompe à chaleur est assurée au travers du réseau électrique du bâtiment. Les surplus d'électricité (3 à 4 kW) sont utilisés pour

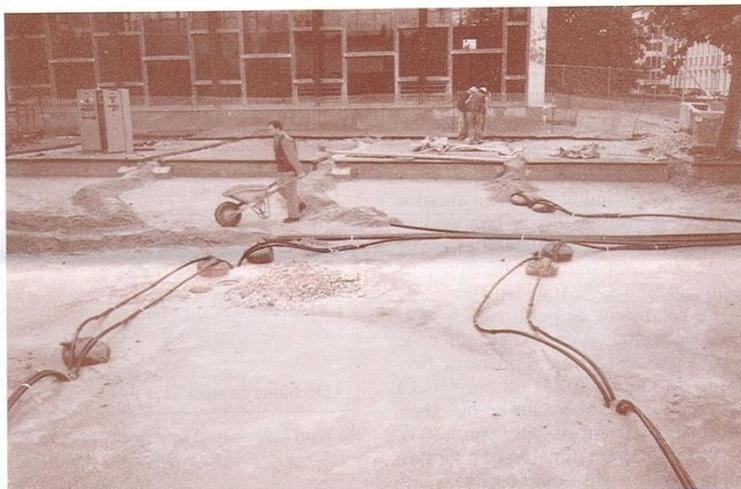


Photo 1: Vue partielle du stock en construction

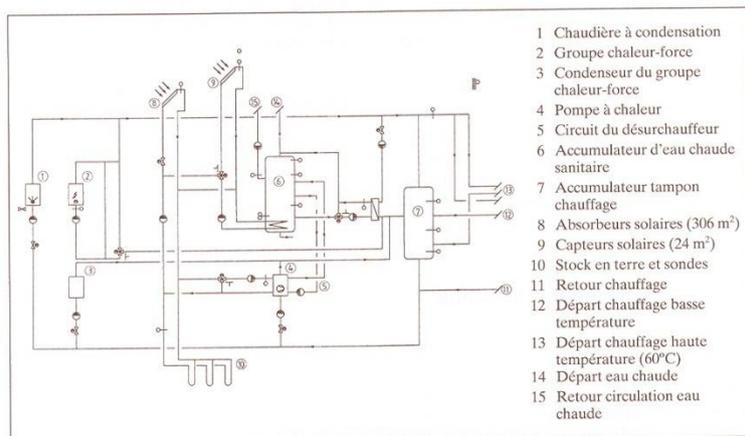


Figure 1: Schéma de principe

l'alimentation des circulateurs de la chaufferie. En cas de panne du groupe chaleur-force, la pompe à chaleur est alimentée par le réseau. Le groupe chaleur-force peut également travailler indépendamment de la PAC.

La distribution dans les bâtiments est assurée par des radiateurs (circuit 60/40 par -7°C ext.).

### Mesures et résultats

L'installation a été instrumentée et son bilan énergétique mesuré durant 2 années (tableau 2). Le financement des mesures a été assuré par l'Office fédéral de l'énergie. On constate que 79% de la chaleur délivrée au bâtiment provient de la pompe à chaleur à gaz, le solde étant fourni par la chaudière.

La production des absorbeurs solaires était prévue à 600 W/m<sup>2</sup>, elle est en réalité supérieure à 800 W/m<sup>2</sup> la 2<sup>ème</sup> année. Cette situation, associée à une demande de chaleur du bâtiment un peu plus faible que prévue, explique que l'on aie extrait du stock que 50% de la chaleur injectée. Cette situation induit une augmentation lente et bienvenue de la température moyenne du stock décelable dès la 2<sup>ème</sup> année. La température minimum augmente de 5,7 à 8,2°C (tableau 3).

Le coefficient de performance de la PAC électrique est de 3,35 et celui de la PAC à gaz de 1,50. Le rendement électrique du moteur (0,24) est correct. La part de l'énergie solaire aux besoins thermiques du bâtiment est supérieure à 30%.

Un aspect remarquable lié à l'installation solaire, mais aussi à d'autres mesures telles que le renouvellement de la régulation et de la ventilation, est représenté par la consommation spécifique du bâtiment qui passe de 794 MJ/m<sup>2</sup>/an avant travaux à 176 MJ/m<sup>2</sup>/an (96/97) puis à 145 MJ/m<sup>2</sup>/an (97/98). La consommation du bâtiment a donc diminué d'un facteur 4,5 la 1<sup>ère</sup> année et 5,5 la 2<sup>ème</sup> année.

Il faut dire que cette différence est la conséquence d'une panne de maintenance du groupe chaleur-force durant la 2<sup>ème</sup> année, année durant laquelle la pompe à chaleur a été alimentée près de 1'500 heures par le réseau électrique.

### Le comportement du stock

En juin, par journée ensoleillée, la température à la sortie des absorbeurs atteint 45°C, alors qu'au démarrage le matin, la température au retour des sondes est de 15°C, soit environ l'état du stock à ce moment.

|   |                       |       |
|---|-----------------------|-------|
| • Volume du collège après transformation                  | 34'400 m <sup>3</sup> |       |
| • Surface de référence énergétique                        | 7'855 m <sup>2</sup>  |       |
| • Demande thermique des bâtiments (-7°C)                  | 320 kW                | 100 % |
| • Pompe à chaleur électrique                              |                       |       |
| – puissance condenseur                                    | 62 kW                 | 20 %  |
| – puissance désurchauffeur                                | 3 kW                  | 1 %   |
| • Groupe chaleur force au gaz naturel                     |                       |       |
| – puissance thermique                                     | 61 kW                 | 19 %  |
| – puissance électrique                                    | 24 kW                 |       |
| – condenseur  | 10 kW                 | 3 %   |
| • Pompe à chaleur à gaz (groupe chaleur-force + PAC)      | 136 kW                | 43 %  |
| • Chaudière d'appoint et de secours à mazout              | 300 kW                | 94 %  |
| • Absorbeurs solaires sans vitrage pour recharge du stock | 306 m <sup>2</sup>    |       |
| • Puissance maximum des absorbeurs solaires sur stock     | 220 kW                |       |
| • Capteurs solaires pour la production d'eau chaude       | 24 m <sup>2</sup>     |       |
| • Sonde en double U longueur 60 m, 30 sondes              | 1'800 m               |       |
| • Volume du stock en rocher délimité par les sondes       | 29'000 m <sup>3</sup> |       |
| • Entre-axe des sondes                                    | 3,8 m                 |       |

Tableau 1: Les équipements producteurs de chaleur et leurs puissances

|   |         |       |
|---|---------|-------|
| • Consommation d'énergie finale (gaz + mazout)      | 384 MWh |       |
| • Energie électrique d'appoint par le réseau        | 10 MWh  |       |
| • Energie thermique délivrée vers bâtiment          | 521 MWh | 100 % |
| • Energie fournie par la PAC électrique             |         |       |
| – condenseur  | 207 MWh | 39 %  |
| – désurchauffeur                                    | 6 MWh   | 1 %   |
| • Energie fournie par le groupe chaleur-force       |         |       |
| – chaleur moteur                                    | 170 MWh | 33 %  |
| – condenseur  | 28 MWh  | 5 %   |
| – électricité                                       | 53 MWh  |       |
| • Energie fournie par la chaudière à condensation   | 103 MWh | 20 %  |
| • Energie fournie par la PAC gaz                    | 411 MWh | 79 %  |
| • Capteurs solaires pour la production d'eau chaude | 7 MWh   | 1 %   |
| • Absorbeurs solaires sans vitrage                  |         |       |
| – vers le stock                                     | 213 MWh | 86 %  |
| – vers la PAC                                       | 31 MWh  | 14 %  |
| Total   | 244 MWh | 100 % |
| • Décharge du stock vers PAC                        | 107 MWh | 44 %  |

Tableau 2: Le bilan énergétique de l'installation (3.10.96 au 2.10.97)

|  | 1996/97                | 1997/98                |
|--|------------------------|------------------------|
| • Coefficient de performance de la PAC électrique  | 3,39                   | 3,35                   |
| • Coefficient de performance de la PAC à gaz   | 1,41                   | 1,52                   |
| • Fonctionnement de la PAC électrique  | 3167 h                 | 3064 h                 |
| • Rendement du moteur  |                        |                        |
| – électrique   | 0,243                  | 0,239                  |
| – thermique + électrique   | 0,961                  | 0,919                  |
| • Rendement de la chaudière (PCI)  | 0,96                   | 0,95                   |
| • Rendement de la chaufferie   | 1,27                   | 1,29                   |
| • Production des absorbeurs solaires   | 797 kWh/m <sup>2</sup> | 845 kWh/m <sup>2</sup> |
| • Température minimale à la sortie du stock  | 5,7°C                  | 8,2°C                  |
| • Température maximale à l'entrée du stock   | 44,4°C                 | 45,8°C                 |
| • Température minimale de retour vers le stock   | 1,0°C                  | 2,6°C                  |
| • Différence de température entre l'entrée et la sortie du stock                         |                        |                        |
| – en décharge  | 4,0°C                  | 4,0°C                  |
| – en charge (valeur maximale)  | 25°C                   | 26°C                   |
| • Part de l'énergie solaire couvrant les besoins en chaleur du bâtiment                  | 28,5%                  | 32,8%                  |
| • Consommation d'énergie finale (gaz + mazout)   | 384 MWh                | 320 MWh                |
| • Indice énergétique chaleur des bâtiments avant transformation                          |                        | 794 MJ/m <sup>2</sup>  |
| • Indice énergétique chaleur des bâtiments anciens partiellement transformés et nouveaux | 176 MJ/m <sup>2</sup>  | 145 MJ/m <sup>2</sup>  |

Tableau 3: Quelques données spécifiques de l'installation

## STOCKAGE DE CHALEUR • WÄRMESPEICHERUNG

En février 1998, plutôt ensoleillé, après un fort soutirage en janvier, la température du ou vers le stock oscille entre 8°C et 25°C selon l'état du système. On note un gain de 3°C dû à un bilan favorable entre le début et la fin du mois.



Vue partielle des absorbeurs

### L'aspect financier

Le surcoût total entraîné par les mesures d'assainissement a été de fr. 592'000.-. Les investissements sont grossièrement répartis à raison d'un tiers pour l'installation solaire, un tiers pour l'accumulateur et un tiers pour la pompe à chaleur à gaz (tableau 4). Rapportée à la surface, l'installation solaire est bon marché (fr. 500.-/m<sup>2</sup>).

En revanche, par unité de puissance, l'accumulateur est coûteux. En effet, la longueur totale des sondes en terre (1'800 m) est calculée pour la charge (120 W/m) et non pour la décharge (25 W/m). Avantage: gain de température au moment du soutirage par rapport à une installation conventionnelle (~ 50 W/m). Le prix du groupe chaleur-force et de ses équipements reste élevé.

Le bilan financier (tableau 5) montre que le prix du combustible devrait être de 6,4 ct par kWh pour que l'ensemble des mesures d'assainissement soit rentable, malgré des économies d'énergie spectaculaires. Le prix moyen d'achat du combustible (gaz + mazout) est de 5 ct/kWh. La rentabilité n'est donc pas loin d'être atteinte.

### Remarques finales

L'installation fonctionne depuis l'automne 1996 sans difficulté particulière. Parmi les mesures qui permettraient d'atteindre une meilleure rentabilité économique, citons:

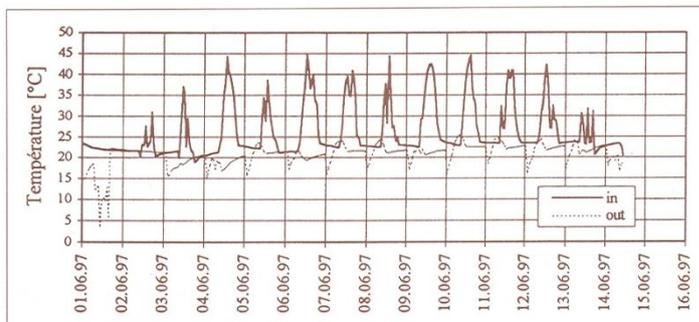


Figure 2: Température entrée/sortie du stock en juin 1997

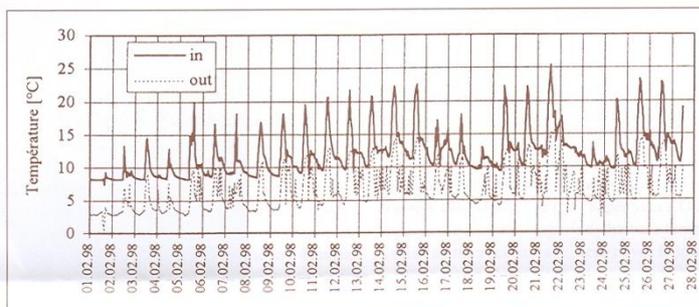


Figure 3: Température entrée/sortie du stock en février 1998

|   |                  |                      |
|---|------------------|----------------------|
| • Stock en terre, terrassement et liaisons                  | 193'000.-        | 4'300.-/kW           |
| • Pompe à chaleur à gaz:                                    | 170'000.-        | 1'250.-/kW           |
| • PAC électrique  | 42'000.-         | 650.-/kW             |
| • Groupe chaleur-force                                      | 128'000.-        | 5'300.-/kW           |
| • Absorbeurs et capteurs solaires                           | 165'000.-        | 500.-/m <sup>2</sup> |
|   | 6'000.-          | 750.-/kW             |
| • Ingénierie et divers                                      | 58'000.-         | -                    |
| • Autres mesures d'assainissement                           | 40'000.-         | -                    |
| • Moins-value pour 2 <sup>ème</sup> chaudière non installée | -40'000.-        | -                    |
| <b>Surcoût total (puissance installée 320 kW)</b>           | <b>592'000.-</b> | <b>1'850.-/kW</b>    |

Tableau 4: Surcoûts par l'installation héliogéothermique et l'assainissement des équipements

|  |                 |
|--|-----------------|
| • Consommation probable de combustible en cas de transformation standard   | 1'000 MWh/an    |
| • Gain de combustible (97/98)  | 680 MWh/an      |
| • Annuités de surcoût (4 %, 20 ans), (7,36 %)                              | fr. 43'600.-/an |
| • Economie sur les achats de combustibles (5 ct/kWh)                       | fr. 34'000.-/an |
| • Part annuelle de l'investissement non amortissable                       | fr. 9'600.-/an  |
| • Prix du combustible pour que l'installation soit rentable économiquement | 6,4 ct/kWh      |
| • Investissement spécifique rapporté au combustible économisé              | fr. 0.87/kWh an |

Tableau 5: Bilan financier

- une pompe à chaleur électrique plus performante,
- une distribution par chauffage au sol au lieu de radiateurs,
- un groupe chaleur-force ayant un meilleur rendement,
- en cas de construction neuve, pose d'une toiture-absorbeur solaire combinant les deux fonctions.

En revanche, les résultats montrent que l'installation est cohérente. Les puissances de chacun des composants sont correctement dimensionnées, la productivité des absorbeurs solaires est extrêmement élevée, les condenseurs et désurchauffeurs sont justifiés et le système de stock par sondes en double U peut être recommandé.

L'utilisation des modèles de calcul de l'Université de Lund (Suède) pour le dimensionnement du stock s'est d'autre part révélée très performante, même si les calculs sont un peu plus pessimistes que la réalité.

*Bernard Matthey  
Sonia Freiburghaus  
Sylvain Langel*

#### Bibliographie

- Bennet J. et al. 1987. Multipole method to compute the conductive heat flows to and between pipes in a composite cylinder, notes on heat transfer 3-1987, Dept. of Building technology and mathematical physics, University of Lund.
- Hellström G., Eskilson P. 1995. Earth Energy Designer, Preliminary version. Dept. of Mathematical Physics, University of Lund (S)
- Matthey B., Pahud D. 1995. Recherche des paramètres permettant d'élever la température moyenne circulant dans les sondes en terre. 2<sup>ème</sup> rapport intermédiaire, travaux effectués en 1995, mesure et test in situ.

#### Tarife für Inserate tarif des annonces

|                 |            |
|-----------------|------------|
| 1/2 Seite /page | Frs. 600.- |
| 1/4 Seite /page | Frs. 330.- |
| 1/8 Seite /page | Frs. 180.- |

Rabatt für Mitglieder der SVG  
Rabais pour les membres de la SSG

Info: Sekretariat SVG/SSG.

**GRUNDAG**

Energie aus dem Erdreich  
mit Grundag-  
Duplex-Erdwärmesonden®

**Wir senden Ihnen  
gerne unsere  
Dokumentation!**

**Grundag AG** CH-9201 Gossau SG  
Tiefbohrungen Schweiz  
Telefon (+41) 071 388 89 19  
Telefax (+41) 071 388 89 15

---

**ANNEXES CHAPITRE 3 :**  
**POTENTIEL DES GEOSTRUCTURES ENERGETIQUES (GEN)**

---

---

## **Annexe 3.1**

### **Mesures et optimisation de l'installation avec pieux énergétiques du terminal Dock Midfield de l'aéroport de Zurich. Résumé du rapport final**

---

## Mesures et optimisation de l'installation avec pieux énergétiques du terminal Dock Midfield de l'aéroport de Zurich.

Résumé du rapport final (\*)

---

Le Dock Midfield est le nouveau terminal E de l'aéroport de Zürich. Avec une longueur de 500 m sur une largeur de 30 m, il a été construit dans le triangle des pistes dans le cadre de la 5e étape de développement de l'aéroport. En raison de mauvaises conditions géologiques (terrain meuble formé par d'anciens fonds lacustres), le bâtiment a dû être construit sur 440 pieux de fondation. Les pieux sont de gros diamètres (de 90 à 150 cm) et sont fichés dans une couche de moraine de fond située à environ 30 mètres de profondeur. Dans le but de contribuer au chauffage et au refroidissement du bâtiment, plus de 300 pieux sont utilisés en pieux énergétiques. Le bâtiment a été mis en service en automne 2003.

Les mesures de l'installation utilisant les pieux énergétiques ont débuté en octobre 2004 pour une durée de 2 ans...

Le bilan énergétique du système, et en particulier les demandes d'énergie annuelles de chauffage et de refroidissement sont proches des valeurs établies durant la phase de planification. D'autre part, les performances thermiques du système sont très bonnes. Ceci confirme la nécessité et le bien fondé d'une planification détaillée et soignée de ce type de système, et d'une procédure de dimensionnement basée sur des études détaillées, qui ont inclus deux tests de réponse géothermiques, des simulations thermiques dynamiques du bâtiment et du système avec pieux énergétiques...

Les mesures d'octobre 2005 à septembre 2006 ont montré que la pompe à chaleur (PAC), dimensionnée pour délivrer une puissance thermique de 630 kW, contribue pour plus de 70% au chauffage du bâtiment (3'020 MWh/an), le reste étant couvert par du chauffage à distance (la demande de puissance de chauffage de pointe est d'environ 1.6 MW). La demande de refroidissement est causée par la nécessité d'évacuer les charges internes (1'170 MWh/an). Elle est couverte par geocooling (53%), en satisfaisant des besoins de chauffage simultanés (32%) et avec la PAC utilisée comme machine frigorifique (15%). Les rejets thermiques de cette dernière sont évacués par une tour de refroidissement sur le toit du bâtiment et ne compromettent pas la production de froid par geocooling. La production de geocooling représente 40% de l'énergie extraite en hiver par la PAC. Elle assure ainsi une recharge thermique suffisante du terrain, indispensable pour garantir un fonctionnement à long terme du système. Rapportées par mètre linéaire de pieu, la puissance moyenne et l'énergie annuelle extraite ont été établies à respectivement 45 W/m et 183 kWh/(m an). En injection de chaleur, et donc pour le geocooling, ces valeurs sont de 16 W/m et 74 kWh/(m an).

Les indices de performance du système sont excellents. Le coefficient de performance annuel de la PAC est mesuré à 3.9. L'efficacité annuelle de geocooling, définie par le rapport de l'énergie de geocooling sur l'énergie électrique consommée par les pompes de circulation, est exceptionnellement élevée avec une valeur de 60. L'efficacité globale annuelle du système, définie par le rapport de l'énergie thermique et de refroidissement sur l'énergie thermique totale pour le faire fonctionner, pompes de circulation incluses, est de 5.1.

Un potentiel d'amélioration existe avec la distribution de refroidissement. Il est quantifié en supposant que la machine frigorifique n'ait pas besoin d'être mise en marche. Avec cette hypothèse l'efficacité globale du système augmenterait de 5.1 à 5.7. Ceci impliquerait que la température de départ dans la distribution de refroidissement, fixée actuellement à 14°C, puisse être augmentée et le réglage du circuit hydraulique amélioré. Une simulation avec PILESIM2, dont les paramètres ont été calibrés sur les mesures, permet de montrer qu'il suffit de pouvoir distribuer l'énergie de refroidissement à 16-17°C, avec un retour à 19-20°C, pour ne pas avoir besoin d'enclencher la machine frigorifique.

Les prestations économiques du système sont excellentes. Le coût de l'énergie thermique délivrée (en chaud et en froid) est calculé à 6 ct./kWh, que l'on peut comparer à celui de 8 ct./kWh pour une solution conventionnelle. L'investissement supplémentaire du système avec pieux est remboursé en plus ou moins 8 ans.

---

(\*) Pahud, D., Hubbuch, M. : Mesures et optimisation de l'installation avec pieux énergétiques du Dock Midfield de l'aéroport de Zurich. ISAAC-DACD-SUPSI & HSW. Rapport final, Juin 2007. OFEN.

---

**Annexe 3.2**

**Complexe d'habitation sur pieux énergétiques à  
Delémont. Prospectus de promotion de Compatible SA**

---

**Complexe d'habitation sur pieux énergétiques à Delémont.  
Prospectus de promotion**

**Une première dans l'arc jurassien**

**A Delémont, un complexe d'habitation sera chauffé grâce à des pieux énergétiques**



Une nouvelle énergie renouvelable: **les géostructures énergétiques**



Renseignements sur l'ouvrage:

**Dans immeubles résidentiels neufs:**



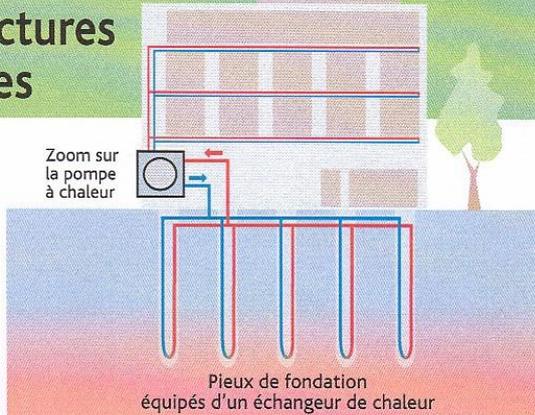
**A VENDRE** au Chemin des Places  
au bord de la Sorne, face à la Migros

- **2x 8 appartements en PPE** de 115 à 165 m<sup>2</sup> modulables
- Finition du second œuvre selon vos vœux
- Bureaux
- Surfaces commerciales
- Parking

S'adresser à : **COMPATIBLE SA**  
23, rue de l'Avenir  
CH-2800 Delémont  
079 214 46 26



Zoom sur la pompe à chaleur



Pieux de fondation équipés d'un échangeur de chaleur

**Les géostructures énergétiques sont:**

- des ouvrages souterrains
- réalisables pratiquement partout en Suisse
- une source de **chaleur** renouvelable
- une source de **froid** renouvelable
- un stock tampon de chaleur ou de froid

CENTRE

**FAIVRE ENERGIE**

TECHNIQUES ENERGETIQUES



EXPOSITION PERMANENTE RTE DE PORRENTROY 82

**H.FAIVRE SA DELEMONT DUKO SA**  
032 422 41 61 032 422 36 46

**Le rêve d'un chauffage et d'une climatisation par énergie renouvelable!**

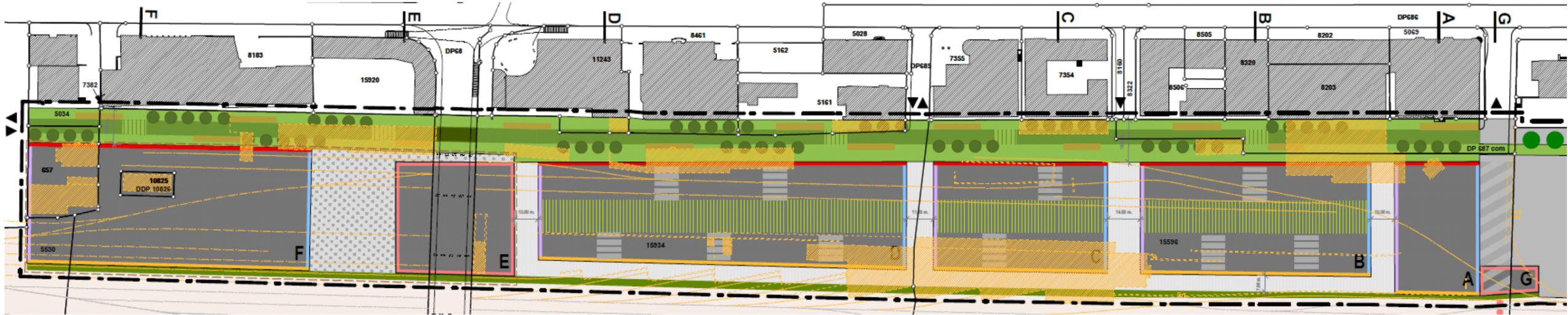
---

**Annexe 3.3**

**Plan spécial – Le Corbusier - Plan d'implantation**

---

**Plan spécial – Le Corbusier - Plan d’implantation.**



- |   |   |   |  |
|---|---|---|--|
|    | périmètre du plan spécial                           |    | <b>Paysage</b><br>parc urbain                              |
|  | bâtiments existants hors du plan spécial            |  | aire d'aménagement Ouest de la place de la gare            |
|  | éléments voies ferroviaires voués à la démolition   |  | parvis du périmètre d'évolution des constructions <b>A</b> |
|  | périmètre du secteur Ouest                          |  | frange paysagère Sud                                       |
| <b>Urbanisation</b>   |   |  | espace paysager  |
|  | alignement obligatoire rue "verte"                  |  | arborisation structurante (à titre indicatif)              |
|  | alignement obligatoire Sud                          |  | arborisation existante (positionnement à titre indicatif)  |
|  | alignement obligatoire Ouest                        |  | domaine ferroviaire (à titre indicatif)                    |
|  | alignement obligatoire Est                          |   |  |
|  | périmètre d'évolution des constructions <b>E, G</b> |   |  |
|  | césure (positionnement à titre indicatif)           |   |  |



---

**Annexe 3.4**

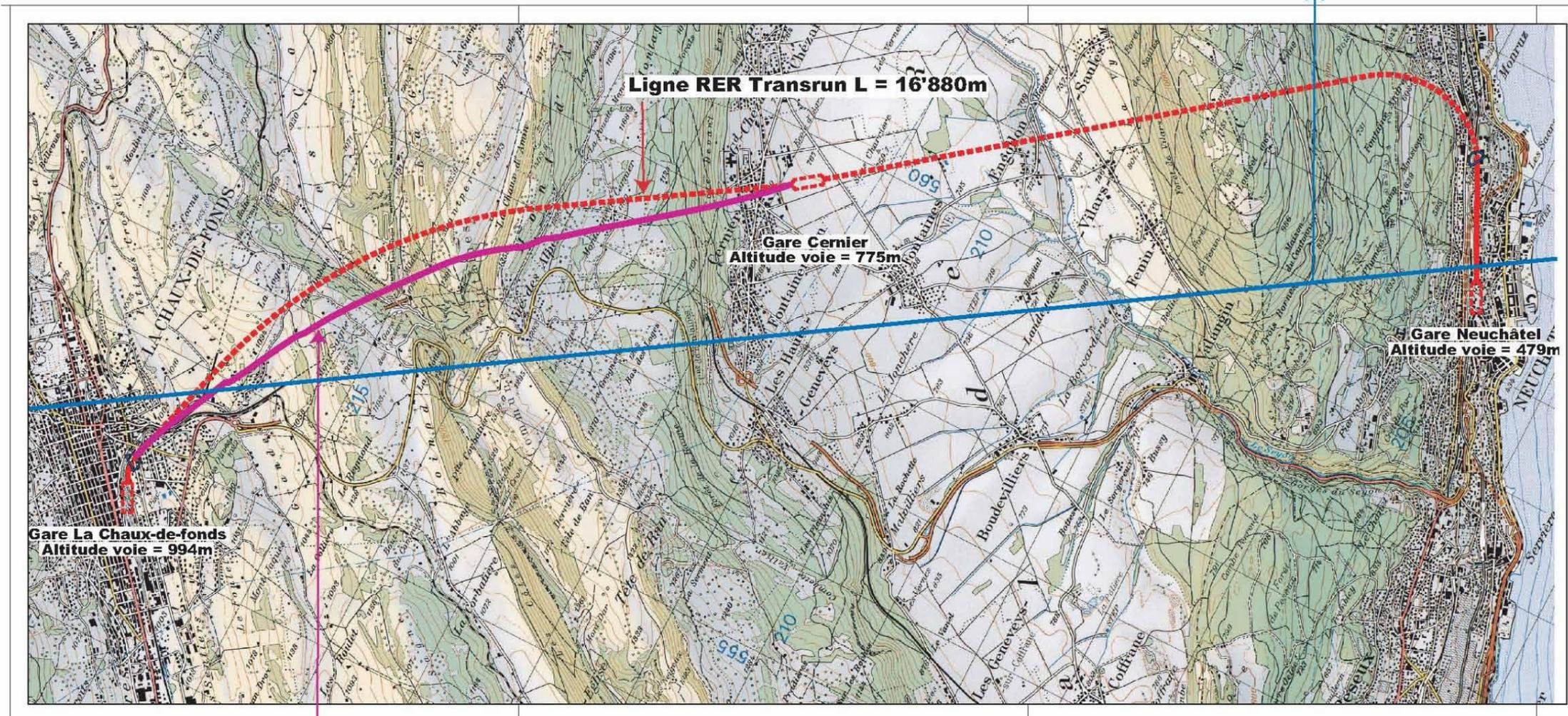
**Transrun – Plan de situation du tracé entre Neuchâtel et  
La Chaux-de-Fonds (Transrun et Blant 2009)**

---



Transrun – Plan de situation du tracé entre Neuchâtel et La Chaux-de-Fonds (Transrun et Blant 2009)

Coupe no 7  
Rapport final  
PGN 2008



Projet RER 2002  
Coupe Burkhard



---

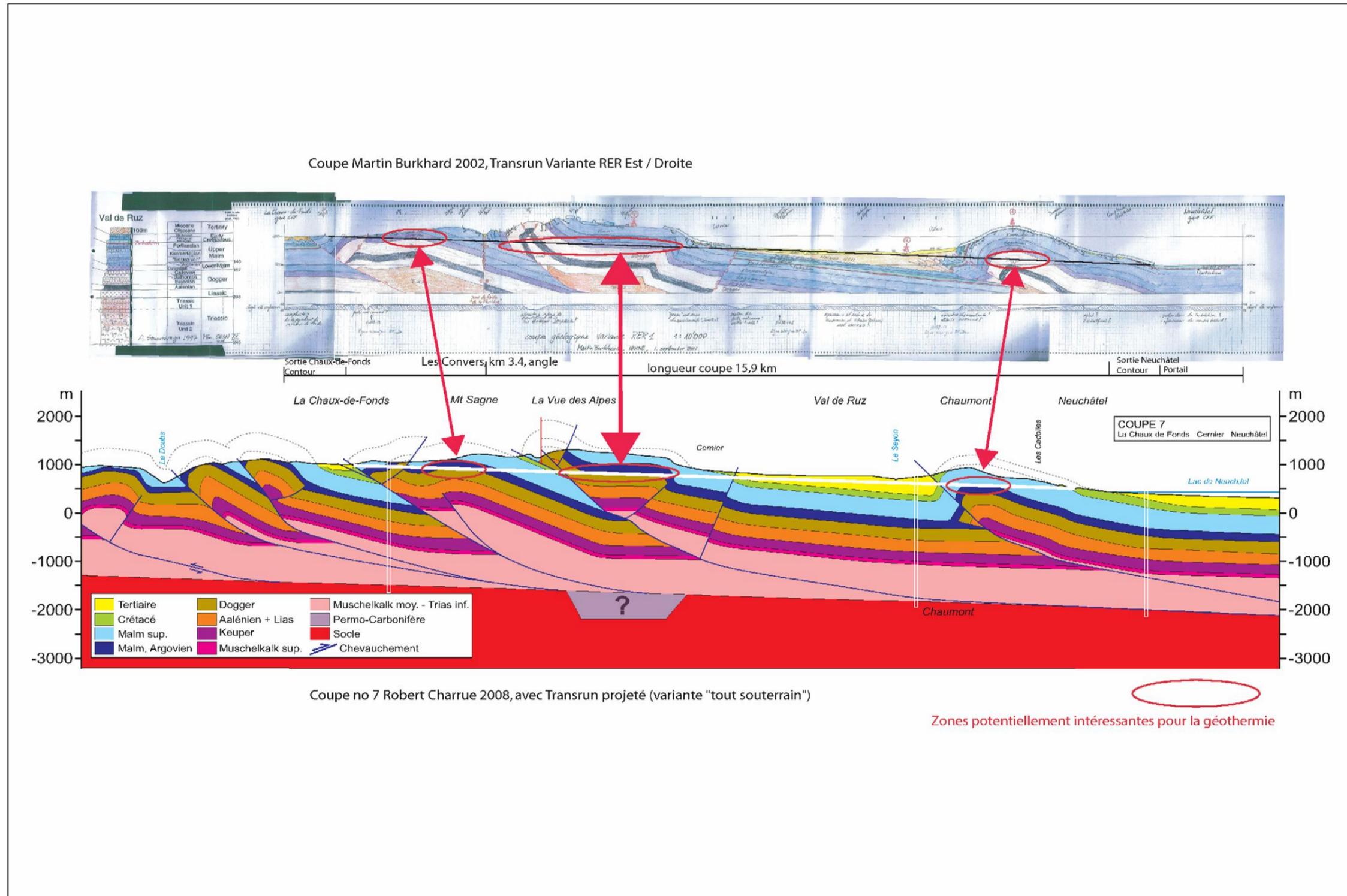
## **Annexe 3.5**

### **Transrun – Profils en long géologiques comparés et zones potentiellement intéressantes pour la géothermie (PGN 2008 et Blant 2009)**

---



**Transrun – Profils en long géologiques comparés et zones potentiellement intéressantes pour la géothermie (PGN 2008 et Blant 2009)**





---

**ANNEXES CHAPITRE 4 :**  
**POTENTIEL THERMIQUE DES NAPPES PHREATIQUES**  
**(NAP)**

---

---

## **Annexe 4.1**

# **Guide d'aide au dimensionnement des ouvrages de petite dimension et procédures d'autorisation dans le Canton de Neuchâtel**

---

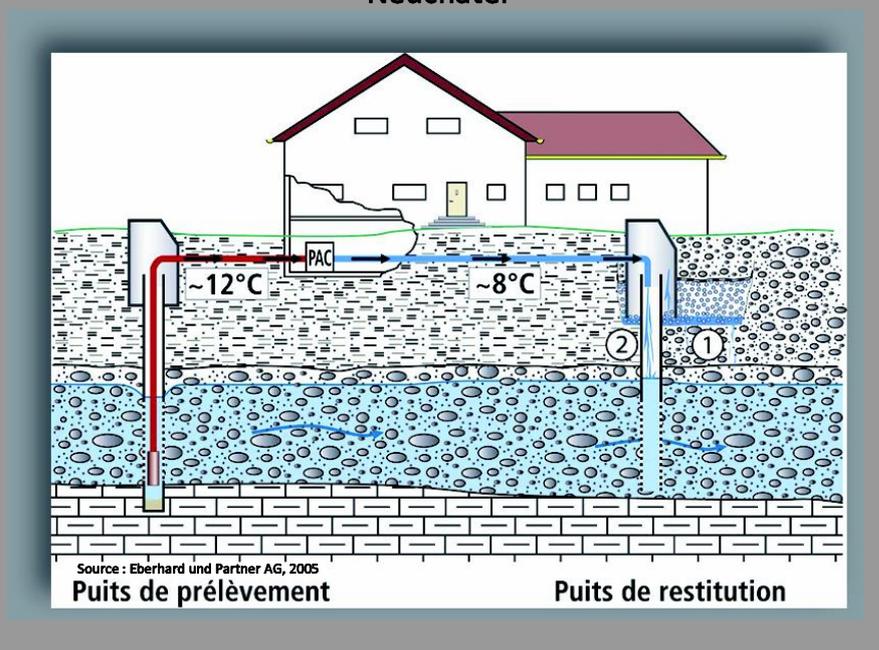
---

## Programme cantonal de développement de la géothermie à Neuchâtel

---

### Exploitation de la chaleur des nappes phréatiques de faible profondeur

Guide d'aide au dimensionnement des ouvrages de petite dimension et procédures d'autorisation dans le Canton de Neuchâtel



Novembre 2009

**Document établi par :**

Groupement PDGN,  
Marc Affolter,  
Bernard Matthey Ingénieurs-Consells S.A.  
La Grande-Fin 19  
2037 Montezillon

**Commande du document :**

InfoEnergie@ne.ch 032 889 47 26

ou téléchargeable sur  
[www.ne.ch/energie](http://www.ne.ch/energie) Rubrique : Information, Formation et Conseils

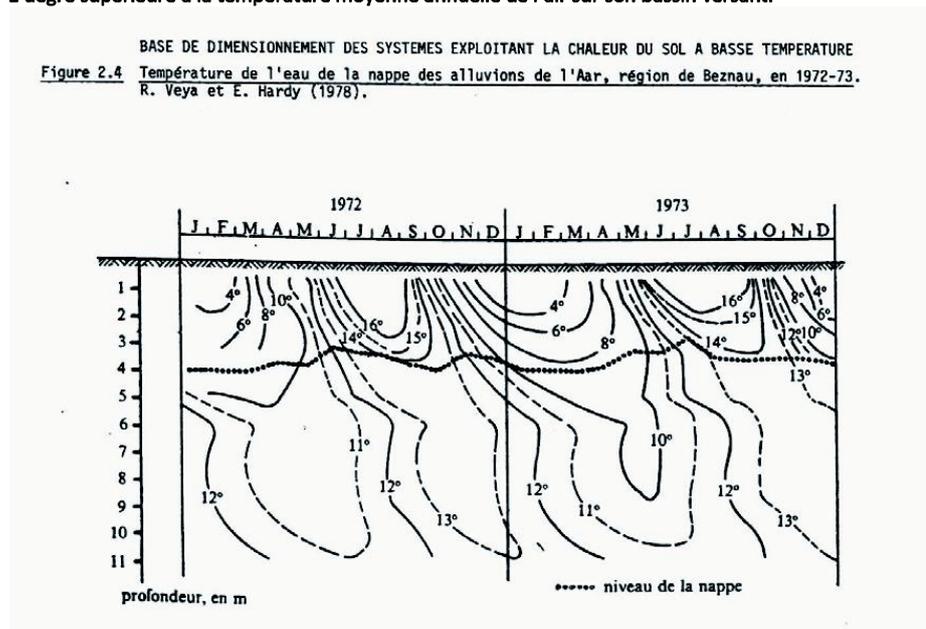
## 1. Objectifs

Les nappes phréatiques de faible profondeur du canton de Neuchâtel sont d'extension limitée et sont pour la plupart déjà exploitées pour la production d'eau potable. Dans les secteurs autorisés, l'exploitation de l'eau souterraine des nappes phréatiques pour la production de chaleur ou de froid (hydrothermie) doit être encouragée car les eaux souterraines sont une ressource thermique d'excellente qualité et permettent de réaliser des systèmes à bonne efficacité énergétique.

Ce guide d'aide au dimensionnement a pour objectif de promouvoir l'utilisation de la chaleur des nappes phréatiques et d'informer les utilisateurs (entreprises, propriétaires, professionnels actifs dans le domaine de l'énergie) sur les principes généraux d'exploitation. Le dimensionnement des installations sur nappe phréatique reste du ressort de spécialistes car l'entreprise est relativement délicate.

## 2. Principe d'exploitation

- L'eau des nappes souterraines est une excellente ressource thermique car sa température est stable toute l'année, avec des moyennes annuelles situées entre 7.5°C (Jura) et 13.0°C (Littoral). La température des nappes peu profondes enregistre les variations de températures saisonnières mais de manière atténuée et décalée de quelques mois par rapport à la surface. Dans le canton de Neuchâtel, la température des nappes est rarement inférieure à 6°C et ne dépasse que de manière exceptionnelle 15°C, ce qui en fait une ressource intéressante pour la production de froid également. A titre indicatif on peut dire que la température annuelle moyenne d'une nappe souterraine ou d'une source est de 1 degré supérieure à la température moyenne annuelle de l'air sur son bassin versant.



Variation de la température du sous-sol avec la profondeur et en fonction de la saison illustrant l'influence de la nappe souterraine sur la stabilité saisonnière de la température. (source : SIA D025)

- En Suisse, l'exploitation hydrothermique des nappes phréatiques ne représente que le 2% des installations couplées à des pompes à chaleur (PAC). Dans le canton de Neuchâtel, on recense une trentaine d'installations dont la plupart sont utilisées pour la production de froid (freecooling). L'énergie totale exploitée est de 5 MWh/an (état en 2009). Il existe un fort potentiel de développement pour ce type d'installations.
- L'eau souterraine est généralement pompée par un ou plusieurs puits filtrant(s) profond(s) de quelques mètres et acheminée vers la PAC. L'eau est refroidie de 3 à 4°C dans l'évaporateur de la PAC et transmet

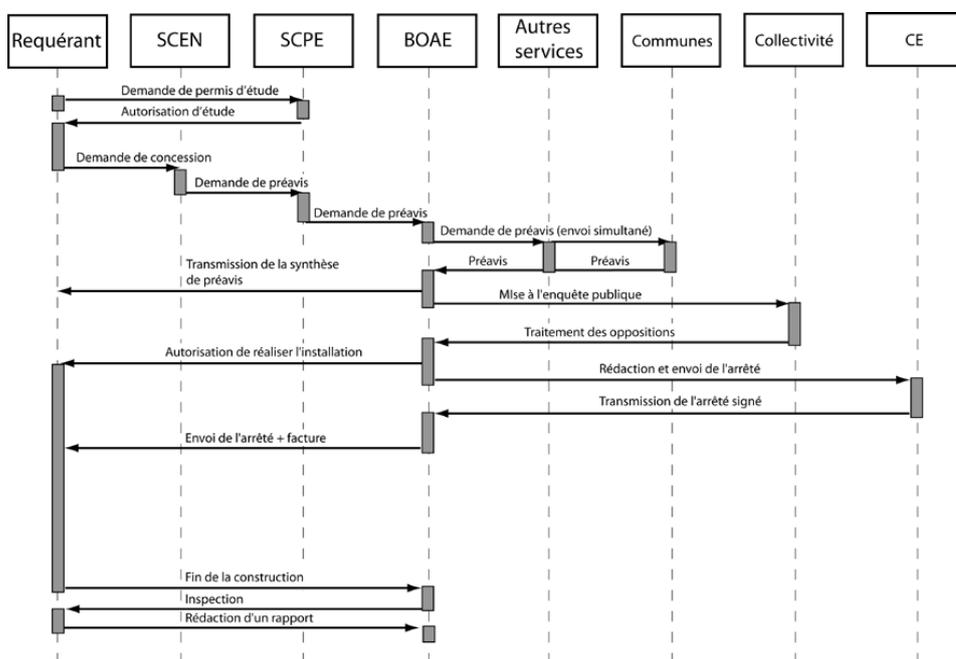
ainsi son énergie thermique. Lorsque l'eau de la nappe transite par un échangeur intermédiaire, on parle de système indirect.

- Les pompes à chaleur alimentées par la chaleur de l'eau souterraine sont des PAC eau/eau. Comme la production de chaleur dépend essentiellement du débit pompé et de la température de la ressource, on peut fournir des puissances considérables lorsque le sous-sol est très perméable (ordre de grandeur : jusqu'à 1 MW par installation).
- Les coefficients de performance des PAC sur eau de nappe sont très bons, car la température de la ressource est élevée, et qu'elle ne subit pas de dégradation sur la durée d'exploitation. Avec une installation de qualité, l'eau souterraine fournit environ 80% de l'énergie thermique à la sortie de la pompe à chaleur. Le 20% restant est fourni à la PAC sous forme d'électricité.

### 3. Procédure d'autorisation

#### 3.1 Bases légales

- Les bases légales suivantes sont applicables pour l'exploitation hydrothermique des eaux souterraines :
  - Loi sur la protection de l'environnement du 7 octobre 1983 (LPE, RS 814.01)
  - Loi fédérale sur la protection des eaux du 24 janvier 1991 (LEaux, RS 814.20)
  - L'Ordonnance sur la protection des eaux du 28 octobre 1998 (OEaux, RS 814.201)
  - Loi cantonale sur les eaux du 24 mars 1953 (LCE, RS 731.101)
  - Loi cantonale sur la protection des eaux du 12 octobre 1984 (LCPE, 805.10)
- L'usage hydrothermique des eaux souterraines est soumis à concession.
- La demande de concession doit être précédée d'une étude faite sur le terrain. Le permis d'étude est accordé par le Département de la gestion du territoire sur la base d'une demande suffisamment détaillée.
- La procédure en vigueur dans le canton de Neuchâtel est détaillée sur le tableau suivant.



Procédure de demande de concession en vigueur dans le canton de Neuchâtel (source : BOAE). Abbrév. SCEN : Service cantonale de l'énergie ; SCPE : Service cantonal de la protection de l'environnement ; BOAE : Bureau des ouvrages d'art et de l'économie des eaux (Service ponts et chaussées). CE : Conseil d'Etat.

### 3.2 Permis d'étude

---

- Conformément à la Loi cantonale sur les eaux du 24 mars 1953, une demande de permis d'étude est adressée au Service de la protection de l'environnement.
- Lorsque le requérant contacte le SCPE pour demander le permis d'étude, il devra fournir les coordonnées du prélèvement et du rejet, le débit maximum prélevé et durée annuelle de fonctionnement de l'installation.
- Le Département de la gestion du territoire délivre le permis d'étude sous la forme d'une décision spéciale (autorisation permettant de réaliser un forage pour un essai de pompage d'une durée et d'un débit déterminé, de collecter toutes les données utiles pour évaluer la faisabilité du projet et pour la demande de concession).

### 3.3 Demande de concession

---

- La demande de concession se fait au moyen du formulaire EN-NE60 utilisation de pompe à chaleur (PAC) de la république et canton de Neuchâtel. Le formulaire est disponible sous :
  - > [www.ne.ch/energie](http://www.ne.ch/energie) rubrique "Police des constructions"
  - > [www.endk.ch](http://www.endk.ch) rubrique "Professionnels"
- La demande de concession est accompagnée des résultats de l'étude préalable, sous la forme d'une note technique établie par un hydrogéologue diplômé.
- Le dossier de demande de concession est transmis :
  - > En cas de transformation de l'installation de chauffage, au Service cantonal de l'énergie
  - > En cas de demande de permis de construire elle fait partie intégrante du dossier de demande de permis de construire et suivra la même procédure que cette dernière

### 3.4 Renseignements à fournir avec la demande de concession

---

- L'étude préalable qui motive et justifie la demande de concession doit notamment renseigner sur :
  - Le descriptif exact de l'installation, avec localisation des points de prélèvement et de rejet, la quantité d'eau pompée et l'énergie soutirée à la nappe.
  - Les installations de captage voisines. Un inventaire des concessions existantes peut être demandé au Bureau des ouvrages d'art et de l'économie des eaux (BOAE)
  - Les données hydrauliques sur l'aquifère et l'impact éventuel sur les concessions voisines et sur la stabilité du milieu construit. Le degré de détail dépend du débit pompé et de la différence de température entre le prélèvement et la réinfiltration. Pour des différences de température entre le captage et le rejet supérieures à 3°C, la pose de 2 tubes piézométriques à l'aval des écoulements permettant de mesurer la température est exigée.

### 3.5 Octroi de la concession

---

- Au cours de la procédure, les services cantonaux et la commune sont consultés pour préavis. En cas de préavis positif, la concession est mise à l'enquête publique et un arrêté est rédigé par le Conseil d'Etat.
- La concession sur l'usage d'eau souterraine est octroyée pour une durée de 15 ans, renouvelable.

### 3.6 Permis de construire

---

- En cas de demande de permis de construire, la demande de concession est jointe à la demande. En principe, pour les petites installations, une demande de permis de construire spécifique en parallèle à la demande de concession n'est pas requise pour ce type d'installations de captage et de rejet.

## 4. Possibilités et restrictions dans le canton de Neuchâtel

---

### 4.1 Possibilités d'exploitation

---

- Les possibilités d'exploiter la ressource thermique des nappes souterraines dépend étroitement des propriétés du sous-sol comme :
  - La présence d'une zone saturée en eau et d'épaisseur suffisante
  - Les propriétés hydrauliques des graviers aquifères, qui doivent être suffisamment perméables pour pouvoir capter le débit souhaité
  - La qualité chimique et la température de l'eau souterraine
- Une carte sur les possibilités d'exploitation thermiques des nappes phréatiques dans le canton de Neuchâtel peut être consultée sur <http://sitn.ne.ch/index.html>

La carte a pour objectif de mettre en évidence les sites où l'exploitation de l'eau souterraine pour du chauffage ou du rafraîchissement peut être envisagée pour des installations de petite dimension. La carte ne donne aucune indication sur les débits réellement exploitables. Une évaluation plus précise des conditions hydrogéologiques est exigée pour la réalisation de tout projet (étude préalable).

- Dans le canton de Neuchâtel en particulier, un des moyens les plus élégants pour capter la chaleur de l'eau souterraine pourrait consister à exploiter la chaleur (ou le froid) de quelques grandes sources karstiques (Source de la Doux, de la Serrière, de la Noiraigue). Dans ce cas, c'est la législation régissant l'exploitation de la chaleur des cours d'eau qui s'applique.

### 4.2 Principales restrictions

---

- Les nappes phréatiques exploitables à faible profondeur ne sont présentes que sur 2% de la surface du canton et sont très souvent exploitées pour la production d'eau potable de qualité. Ces réserves d'eau potable doivent être protégées en priorité. La réalisation de captages hydrothermiques en zone S de protection des captages d'eau souterraine (S1, S2 et S3) est interdite pour des raisons légales.

La répartition des zones de protection des eaux peut être consultée sur <http://sitn.ne.ch/index.html>

- Le respect des zones de protection n'est cependant pas suffisant pour éviter toute interaction avec les captages d'eau publics ou privés. A proximité de captages existants, on doit s'assurer de ne pas provoquer de dégradation de la quantité et la qualité d'eau pompée par une modification des écoulements souterrains.
- De plus, il faut éviter de provoquer un impact thermique significatif et préjudiciable (modification de la température de l'eau exploitée) sur les concessions hydrothermiques existantes.
- En cas de présence de site pollué à l'aplomb du site prévu pour le captage, l'installation pourra être interdite. Le cas échéant des précautions complémentaires pourront être exigées (sondages préalables, analyses chimiques complètes,...).

Le cadastre des sites pollués du canton de Neuchâtel peut être consulté sur <http://sitn.ne.ch/index.html>

## 5. Règles de dimensionnement

### 5.1 Généralités

Les principes de dimensionnement et d'exécution sont détaillés dans des recommandations (p. ex. OFEV, 2009).

### 5.2 Règles de dimensionnement et exigences particulières

#### Rôle des professionnels

- La dynamique des eaux souterraines est un processus complexe et son interaction avec les eaux de surface, la biosphère et le milieu construit bien souvent difficile à évaluer. De plus, les impacts thermiques sont difficiles à maîtriser. C'est pourquoi le dimensionnement doit se faire au cas par cas par un spécialiste (hydrogéologue) et il n'existe pas de « règles du pouce » pour le dimensionnement de telles installations.
- Pour le choix de la pompe à chaleur, il existe un certificat de qualité.

Liste des PAC certifiées en Suisse : [www.pac.ch](http://www.pac.ch)

#### Calcul du débit d'exploitation

- Dans le cas où on alimente une pompe à chaleur, la puissance soutirée à la nappe souterraine ainsi que le débit d'exploitation sont calculés en fonction de la puissance de la pompe à chaleur et de son coefficient de performance.
- On calcule le débit d'exploitation  $\dot{m}$  avec la relation suivante :

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_{evap}}{(T_1 - T_2) \cdot C} \quad \text{où :} \quad \dot{Q}_{evap} = \dot{Q}_{PAC} \frac{(COP - 1)}{COP}$$

avec :  $\dot{m}$  : Débit pompé en (kg/s)

$\dot{Q}_{evap}$  : Puissance à l'évaporateur de la PAC en (W) ou (J/s)

$\dot{Q}_{PAC}$  : Puissance thermique de la pompe à chaleur en conditions normalisées en (W) ou (J/s)

$T_1$  : Température de l'eau souterraine à l'entrée de la PAC en (K)

$T_2$  : Température de l'eau souterraine à la sortie de la PAC en (K)

$C$  : Chaleur spécifique de l'eau =  $4.18 \cdot 10^3$  (J\*kg<sup>-1</sup>\*K<sup>-1</sup>)

$COP$  : Coefficient de performance de la PAC en conditions normalisées

Dans le cas où on exprime le débit en litres par minute et la puissance à l'évaporation en kW, et qu'on admet que la chaleur spécifique de l'eau est une constante, on a :

$$\dot{m} \text{ (l/min)} = \frac{\dot{Q}_{evap} \text{ (kW)}}{(T_1 - T_2)} \cdot 14,3$$

#### Exemple :

|   |          |
|---|----------|
| Puissance thermique de la PAC :         | 8.5 kW   |
| COP en conditions normalisées W10/W35 : | 5        |
| Puissance à l'évaporateur de la PAC :   | 6.8 kW   |
| $T_1$ :                                 | 12 °K    |
| $T_2$ :                                 | 9 °K     |
| soit $\Delta T$ d'exploitation :        | 3°K      |
| Débit d'exploitation :                  | 32 l/min |

## Installation de captage

- Les propriétés hydrauliques de la nappe et du sous-sol doivent être connues (gradient hydraulique et direction des écoulements, perméabilité), ou déterminées par un spécialiste.
- L'installation ne doit pas porter atteinte au milieu construit. L'abaissement du niveau de la nappe ou le dessablage progressif du terrain par pompage peut dans certains cas causer des dommages aux ouvrages ou bâtiments voisins.
- Les caractéristiques du puits de pompage (type d'ouvrage, profondeur, diamètre, détail des crépines) et son emplacement sont choisis en fonction des caractéristiques locales et du débit. En cas de terrains insuffisamment perméables ou en présence de terrains fins, on pourra réaliser plusieurs puits filtrants pour capter le débit nécessaire. Ces techniques de dimensionnement sont en principe maîtrisées par un hydrogéologue.
- Le plus souvent, l'installation sera constituée d'un puits filtrant semblable au schéma ci-dessous.

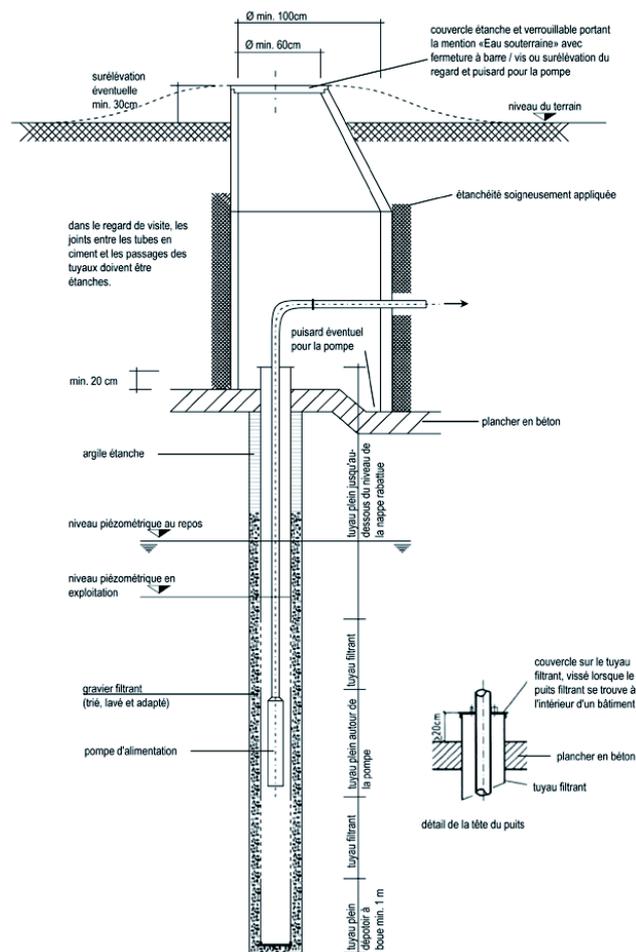


Schéma de principe d'un puits filtrant pour le captage des eaux souterraines (source : OFEV, 2009)

## Installation de rejet

- La restitution de l'eau pompée permet de limiter l'impact sur le stock d'eau souterraine ainsi que sur le débit des ouvrages déjà existants.
- Après avoir été refroidie ou réchauffée, l'eau doit être restituée à la nappe, en général à l'aval des écoulements souterrains, par l'intermédiaire d'un ouvrage d'infiltration. L'infiltration peut être réalisée par puits ou tranchée d'infiltration si les premiers mètres du sous-sol sont suffisamment perméables, ou par puits d'injection de caractéristiques similaires au puits de pompage si les terrains superficiels sont peu perméables.
- Pour des cas exceptionnels (p.ex. surface limitée), une autorisation pourra être délivrée pour rejeter les eaux dans la rivière la plus proche.

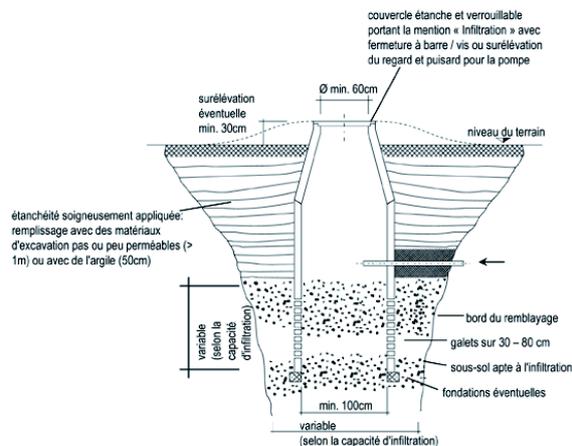


Schéma de principe d'un puits d'infiltration (source : OFEV, 2009)

## Chambres d'accès

- Les ouvrages de prélèvement et de rejet doivent être accessibles par chambre d'accès et doivent satisfaire aux obligations standards (profondeur, diamètre, détail d'exécution).

## Influence thermique du rejet

- Le rejet des eaux refroidies (ou réchauffées) dans le milieu souterrain va modifier localement la température de la nappe. L'influence du rejet thermique dépendra notamment du débit prélevé-rejeté, de l'épaisseur de l'aquifère et de la vitesse des écoulements souterrains. En règle générale, un rejet de chaleur dans une nappe à écoulements rapide sera plus rapidement dispersé et aura moins d'influence à long terme sur la température de la nappe.
- L'impact thermique du rejet doit répondre aux exigences légales : la modification de la température de la nappe par rapport à son état naturel doit être inférieure à 3°C (mesuré dans un rayon de 100 m à partir du point de rejet). Aux abords immédiats du puits, le refroidissement/réchauffement peut être plus important.
- Le rejet doit être suffisamment éloigné du captage pour éviter les phénomènes de recyclage thermique (les eaux froides rejetées influencent la température des eaux captées). Dans ce cas, on assistera à un refroidissement progressif de la ressource avec une perte de rendement de la PAC voire un arrêt forcé de l'installation en raison du risque de gel. L'espacement minimal doit être calculé avec le plus grand soin au moyen de formules appropriées.
- On s'assurera également que le site du projet n'est pas sous l'influence d'un rejet thermique voisin.

## Stockage de chaleur - régénération thermique de l'aquifère

La production de froid en été peut contribuer à maintenir l'équilibre thermique de la nappe. Cette solution n'est en principe efficace que si les vitesses d'écoulement de la nappe sont relativement faibles.

En cas de production de chaleur en hiver et de froid en été, la nappe souterraine peut être utilisée comme stockage saisonnier de chaleur. Une solution intéressante consiste à alterner les sites de pompage et de rejet en fonction de la saison (systèmes de doublet réversibles), avec pour effet une amélioration de l'efficacité énergétique de la PAC en hiver.

## Regroupement des installations

Pour une question de coûts, ce type d'installation est en général recommandé pour de grandes puissances (immeubles, bâtiments publics, centres commerciaux,...). Pour une exploitation optimale des ressources thermiques de la nappe et afin de limiter les influences réciproques, on aura intérêt à regrouper l'exploitation en centralisant le captage et en desservant les utilisateurs (p.ex. un quartier de villas) par un réseau de distribution d'eau de nappe.

## Autres exigences et recommandations

- Les ouvrages de captage et de rejet sont dimensionnés pour un débit d'exploitation donné en fonction des caractéristiques de la nappe. Le débit d'exploitation maximum du puits ne doit pas être dépassé (risques d'ensablement).
- Le puits de captage doit être correctement nettoyé et développé (absence de sable et de fines) avant la mise en service. Pour cela, un essai de pompage de plusieurs jours est recommandé.
- Un filtre (simple ou à lavage à contre courant), un bypass temporaire avant la PAC ainsi qu'un échangeur intermédiaire sont recommandés si l'on observe du sable dans les eaux pompées.
- Les nappes phréatiques peuvent parfois contenir des eaux réactives, peu oxygénées et chargées en fer et manganèse. Ces eaux ont un fort pouvoir incrustant qui peut conduire à de sérieuses difficultés d'exploitation, voire à une impossibilité d'exploiter les eaux, d'autant plus si aucune précaution n'est prise au niveau de l'exploitation et des installations techniques (échangeurs, filtres, type de pompe, système de circulation,...). Pour les grandes installations, un système de traitement des eaux peut résoudre la question.
- Une analyse chimique des eaux pompées (pH, oxygène dissous, fer, manganèse, dureté, carbone organique dissous, ...) devrait être effectuée lors de l'étude préalable.
- En cas de doute sur la qualité des eaux (eau dure, sable, fer dissous), il est préférable de travailler en circuit fermé et d'éviter tout contact avec l'air ambiant. On choisira d'installer un échangeur intermédiaire ou une PAC avec échangeurs tubulaires résistant à l'encrassement.
- La température de l'eau pompée doit être suffisante lors des extrêmes saisonniers. De plus, lors de l'exploitation, il faut éviter de modifier la température du milieu en attirant des eaux plus froides ou plus chaudes en provenance de systèmes connectés (rivières, lac, plans d'eau).

## Calcul et simulations numériques

- Un calcul détaillé ou une simulation numérique du comportement thermique de la nappe est recommandé.
- Le logiciel GED ([www.colenco.ch/eng/depts/ge/ged\\_order.html](http://www.colenco.ch/eng/depts/ge/ged_order.html)) permet de simuler de manière relativement simple le comportement thermique de la nappe en fonction des caractéristiques de base de l'installation.

## 6. Contacts et documentation

---

### Recherche d'informations, conseils et documentation

---

- Centre de conseils InfoEnergie du canton de Neuchâtel : tel. 032 889 47 26, [InfoEnergie@ne.ch](mailto:InfoEnergie@ne.ch)
- Service cantonal de l'énergie (SCEN) :  
Tivoli 16, 2000 Neuchâtel, tel. 032 889 67 20, [service.energie@ne.ch](mailto:service.energie@ne.ch)
- Conférence romande des délégués à l'énergie : [www.crde.ch](http://www.crde.ch)
- Groupement promotionnel suisse pour la pompe à chaleur : tel. 021 310 30 10, [www.pac.ch](http://www.pac.ch)
- Société suisse de géothermie : [www.geothermie.ch](http://www.geothermie.ch)
- Conférences des directeurs cantonaux de l'énergie : [www.endk.ch](http://www.endk.ch)
- Conseils pour des économies d'énergie : [www.energie.environnement.ch](http://www.energie.environnement.ch)
- Association Neuchâteloise d'information en matière d'énergie : [www.animenergie.ch](http://www.animenergie.ch)

### Choix des partenaires

---

- Groupement promotionnel suisse pour la pompe à chaleur : tel. 021 310 30 10  
[www.pac.ch/chiffres\\_02.htm](http://www.pac.ch/chiffres_02.htm) Liste des pompes à chaleur certifiées

### Etude préalable, questions relatives aux zones de protection des eaux et du sous-sol

---

- Service cantonal de la protection de l'environnement (SCPE), Rue du Tombet 24, 2034 Peseux tel. 032 889 67 30, [service.protectionEnvironnement@ne.ch](mailto:service.protectionEnvironnement@ne.ch)

### Concessions existantes et suivi du dossier de concession

---

- Service des Ponts et Chaussées, Bureau des ouvrages d'art et de l'économie des eaux (BOAE), Pourtalès 13, 2000 Neuchâtel tel. 032 889 67 10, [Service.PontsChaussees@ne.ch](mailto:Service.PontsChaussees@ne.ch)

### Pour en savoir plus ..

---

- Office fédéral de l'environnement OFEV, 2009. Exploitation de la chaleur tirée du sol et du sous-sol. Aide à l'exécution destinée aux autorités d'exécution et aux spécialistes de la géothermie [www.bafu.admin.ch/publikationen](http://www.bafu.admin.ch/publikationen)
- VDI-Richtlinien 4640: Thermische Nutzung des Untergrundes Blätter 1-4. 2000/2001. Beuth Verlag GmbH, Berlin. [www.beuth.de](http://www.beuth.de)
- Arbeitsgemeinschaft Wärmepumpen AWP 2007: T3: Wärmequellennutzung Grundwasser. Technische Arbeitsblätter AWP. Zürich. [www.awpschweiz.ch](http://www.awpschweiz.ch)
- J.-P. Sauty, 1981 : Du comportement thermique des réservoirs aquifères exploités pour le stockage d'eau chaude ou la géothermie de basse enthalpie. Thèse, institut national polytechnique, Grenoble. Pour ceux qui souhaitent connaître les fondamentaux de la thermodynamique des écoulements souterrains.

---

**Annexe 4.2**

**Carte du potentiel d'exploitation thermique des nappes  
phréatiques de faible profondeur dans le canton**

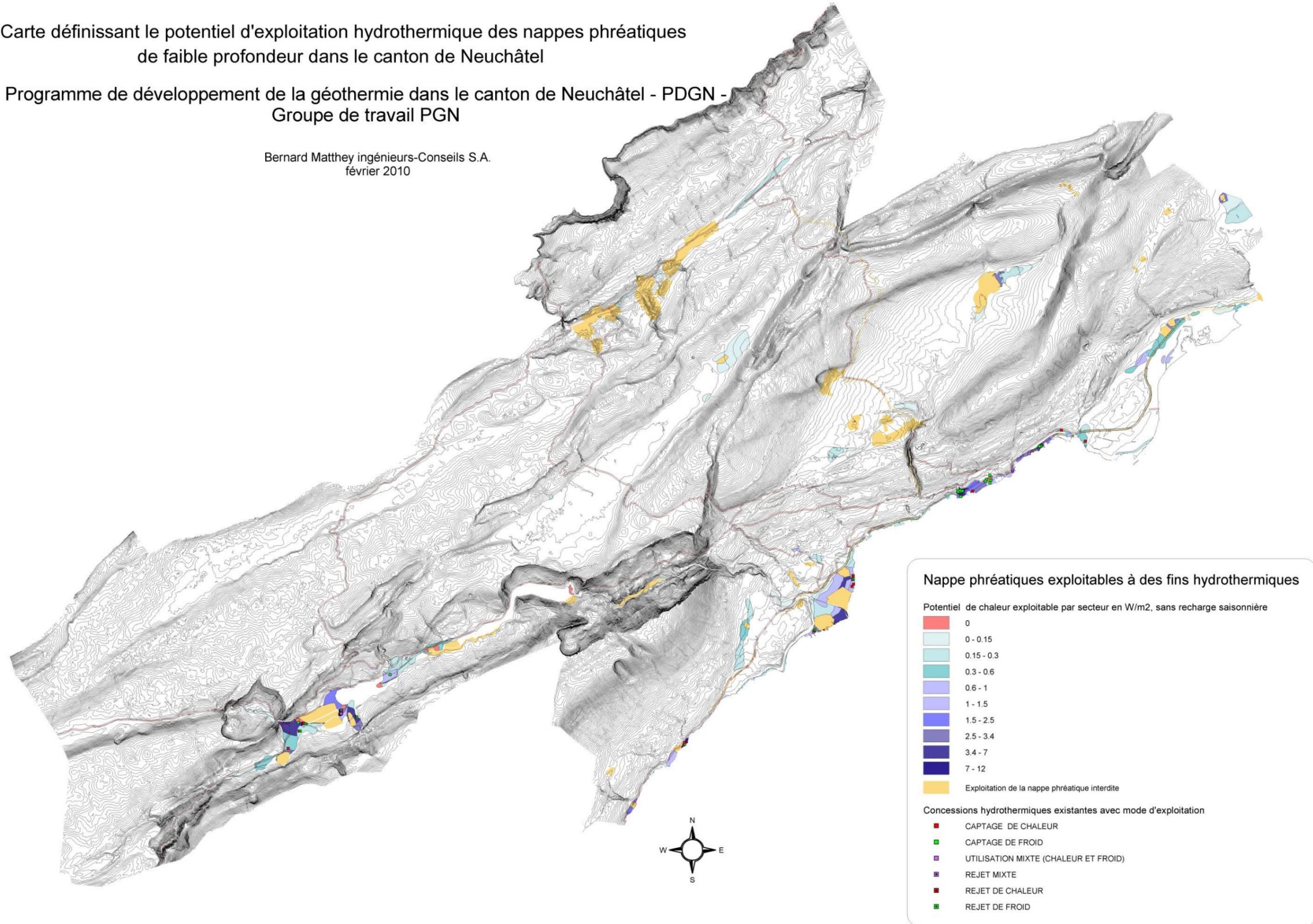
---



Carte définissant le potentiel d'exploitation hydrothermique des nappes phréatiques de faible profondeur dans le canton de Neuchâtel

Programme de développement de la géothermie dans le canton de Neuchâtel - PDGN - Groupe de travail PGN

Bernard Matthey ingénieurs-Conseils S.A.  
février 2010





---

**ANNEXES CHAPITRE 5 :**  
**POTENTIEL DES SOURCES ET DES EAUX DE SURFACE**  
**(SES)**

---

---

## **Annexe 5.1**

### **Caractéristiques des cours d'eau avec leurs débits, températures et potentiels thermiques**

---

| n° de tronçon 1) | Cours d'eau                  | Secteur            | Coordonnées du point de mesure |        | Débit *  |                                 |                              |           | Température * |                                 |                              | Puissance exploitable pour production de chaleur          |   |   |     |       |   |      |       |  |     |       | Puissance exploitable pour production de froid |   |   |  |       |       |  |     |       |   |     |       |  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|------------------|------------------------------|--------------------|--------------------------------|--------|----------|---------------------------------|------------------------------|-----------|---------------|---------------------------------|------------------------------|---|---|---|-----|-------|---|------|-------|--|-----|-------|--|---|---|--|-------|-------|--|-----|-------|---|-----|-------|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                  |                              |                    |                                |        | moyen    | minimum (février) <sup>2)</sup> | minimum (août) <sup>2)</sup> | maximum   | moyenne       | minimum (février) <sup>2)</sup> | maximum (août) <sup>2)</sup> | Exploitation pour la production de chaleur sans appoint ? | Appréciation de la ressource exploitable sur une échelle de 0 à 3 | Puissance thermique théorique <sup>1)</sup> |     |       | Puissance thermique exploitable <sup>1)</sup> |      |       | Puissance thermique admise <sup>1)</sup> |     |       | Puissance thermique autorisée <sup>1)</sup>    | Exploitation pour la production de froid techniquement envisageable ? | Appréciation de la ressource exploitable sur une échelle de 0 à 3 | Puissance frigorifique théorique <sup>1)</sup> |       |       | Puissance frigorifique exploitable <sup>1)</sup> |     |       | Puissance frigorifique admise <sup>1)</sup> |     |       | Puissance frigorifique autorisée <sup>1)</sup> |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                  |                              |                    |                                |        |          |                                 |                              |           |               |                                 |                              |   |   | l/s   | l/s | l/s   | l/s   | °C   | °C    | °C                                       | MW  | MW    |  |   |   | MW   | MW    | MW    | MW   | MW  | MW    | MW  | MW  | MW    |  | MW |
|                  |                              |                    |                                |        |          |                                 |                              |           |               |                                 |                              |   |   |   |     |       |   |      |       |  |     |       |  |   |   |  |       |       |  |     |       |   |     |       |  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 1                | Haute-Arreuse                | St-Sulpice         | 532230                         | 190000 | 4'850 s  | 710 b                           | 290 s                        | 59'500 s  | 7,3 °         | 6,2 °                           | 8,4 °                        | O   | 3   | 9,5   | 87  | 998   | 4,5   | 30,4 | 348,0 | 4,5                                      | 30  | 348   | 4,5  | O   | 3   | 9,2  | 176   | 2'018 | 1,9  | 30  | 348   | 1,9   | 30  | 348   | 1,9  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 1.23             | Haute-Arreuse                | Fleuzer            | 534740                         | 199480 | 8'450 d  | 1'240 d                         | 531 d                        | 58'500 d  | 8,7 °         | 6,0 °                           | 12,9 °                       | O   | 3   | 15,5  | 201 | 1'994 | 7,9   | 53   | 367   | 7,9                                      | 53  | 367   | 7,9  | O   | 3   | 6,9  | 258   | 1'785 | 5,3  | 53  | 367   | 5,3   | 53  | 367   | 5,3  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 1.2345           | Haute-Arreuse                | Couvet             | 538710                         | 197150 | 9'450 d  | 1'390 d                         | 589 d                        | 58'970 d  | 9,4 °         | 5,1 °                           | 15,4 °                       | O   | 3   | 12,2  | 253 | 1'578 | 8,7   | 59   | 370   | 6,4                                      | 59  | 370   | 6,4  | O   | 2   | 1,5  | 261   | 1'627 | 1,5  | 59  | 370   | 0,0   | 59  | 370   | 0,0  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 1.23452          | Haute-Arreuse                | Taven              | 541660                         | 198870 | 9'750 d  | 1'390 d                         | 589 d                        | 58'970 d  | 9,5 °         | 4,3 °                           | 16,9 °                       | O   | 3   | 7,6   | 265 | 1'602 | 7,6   | 61   | 370   | 1,7                                      | 61  | 370   | 1,7  | N   | 0   | 0,0  | 265   | 1'602 | 0,0  | 61  | 370   | 0,0   | 61  | 370   | 0,0  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 1.23453          | Haute-Arreuse                | Noiraigue          | 545750                         | 200380 | 9'900 d  | 1'390 d                         | 589 d                        | 58'970 d  | 9,5 °         | 3,3 °                           | 19,2 °                       | O   | 2   | 1,7   | 269 | 1'602 | 1,7   | 62   | 370   | 0,0                                      | 62  | 370   | 0,0  | N   | 0   | 0,0  | 269   | 1'602 | 0,0  | 62  | 370   | 0,0   | 62  | 370   | 0,0  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 1.23456          | Arreuse                      | Boudry             | 553910                         | 200380 | 11'680 s | 1'660 s                         | 1'430 b                      | 170'000 s | 9,4 °         | 4,0 °                           | 17,6 °                       | O   | 2   | 6,9   | 312 | 4548  | 6,9   | 73   | 1'066 | 0,0                                      | 73  | 1'066 | 0,0  | N   | 0   | 0,0  | 322   | 4'690 | 0,0  | 73  | 1'066 | 0,0   | 73  | 1'066 | 0,0  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 1.234567         | Arreuse                      | Les îles           | 555430                         | 200300 | 12'300 d | 1'710 d                         | 1346 d                       | 170'000 * | 9,4 °         | 3,9 °                           | 18,3 °                       | O   | 2   | 6,4   | 329 | 4548  | 6,4   | 77   | 1'066 | 0,0                                      | 77  | 1'066 | 0,0  | N   | 0   | 0,0  | 339   | 4'690 | 0,0  | 77  | 1'066 | 0,0   | 77  | 1'066 | 0,0  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 1.234561         | Arreuse, Bras de la fabrique | Cortalod           | 555870                         | 199530 | 300 *    | 94 *                            | 1'000 *                      | 1'000 *   | 9,3 °         | 3,9 °                           | 18,2 °                       | O   | 2   | 1,1   |     | 26    | 1,1   |      | 6     | 0,0                                      |     | 6     | N  | 0   | 0,0   |  | 28    | 0,0   |  | 6   | 0,0   |   | 6   | 0,0   |  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 1.2345672        | Arreuse                      | Embouchure         | 556690                         | 199700 | 12'900 d | 1'680 d                         | 1346 d                       | 170'000 * | 9,5 °         | 3,9 °                           | 17,5 °                       | O   | 2   | 6,5   | 350 | 4619  | 6,5   | 81   | 1'066 | 0,0                                      | 81  | 1'066 | 0,0  | N   | 0   | 0,0  | 350   | 4'619 | 0,0  | 81  | 1'066 | 0,0   | 81  | 1'066 | 0,0  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 42               | La Serrière                  | Amont              | 559160                         | 203820 | 2'220 s  | 380 e                           | 270 b                        | 10'700 s  | 8,3 °         | 7,5 °                           | 9,7 °                        | O   | 3   | 7,1   | 49  | 237   | 2,4   | 14   | 67    | 2,4                                      | 14  | 67    | 2,4  | O   | 3   | 7,1  | 71    | 344   | 1,7  | 14  | 67    | 1,7   | 14  | 67    | 1,7  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 42.42            | La Serrière                  | Embouchure         | 559430                         | 203520 | 2'220 s  | 380 s                           | 270 b                        | 10'700 s  | 8,5 °         | 7,6 °                           | 9,8 °                        | O   | 3   | 7,5   | 51  | 246   | 2,4   | 14   | 67    | 2,4                                      | 14  | 67    | 2,4  | O   | 3   | 7,0  | 70    | 335   | 1,7  | 14  | 67    | 1,7   | 14  | 67    | 1,7  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 2                | Le Buttes                    | Amont              | 534121                         | 194106 | 350 *    | 190 *                           | 3'000 d                      |           | 9,7 *         | 5,9 *                           | 15,2 *                       | O   | 3   | 4,2   |     | 84    | 2,2   |      | 19    | 2,2                                      |     | 19    | O  | 2   | 0,6   |  | 79    | 0,6   |  | 19  | 0,0   |   | 19  | 0,0   |  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 2.2              | Le Buttes                    | Village            | 534547                         | 195060 | 2'850 d  | 350 *                           | 190 *                        |           | 9,7 °         | 5,3 °                           | 15,4 °                       | O   | 3   | 5,4   | 80  |       | 2,2   | 18   |       | 1,9                                      | 18  |       | 1,9  | O   | 2   | 0,5  | 75    |       | 0,5  | 18  |       | 0,0   | 18  |       |  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 3                | Le Fleuzer                   |                    | 534980                         | 195300 | 750 d    | 180 e                           | 51 *                         |           |               | 6,4 °                           | 13,9 *                       | O   | 2   | 2,6   |     |       | 1,1   | 5    |       |  |     |       | O  | 2   | 0,5   |  |       | 0,5   | 5  |     | 0,2   | 5   |     |       |  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 4                | Le Bied de Môtiers           |                    | 537170                         | 195810 | 900 d    | 150 *                           | 58 *                         |           |               | 6,5 *                           | 11,8 *                       | O   | 2   | 2,2   |     |       | 0,9   | 6    |       |  |     |       | O  | 2   | 1,0   |  |       | 0,4   | 6  |     | 0,4   | 6   |     |       |  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 37               | Bied de Bovesse              |                    | 536243                         | 196398 | 0 *      | 0 *                             | 0 *                          |           |               | 6,9 *                           | 12,4 *                       | N   | 0   | 0,0   |     |       | 0,0   | 0,0  |       |  |     |       | N  | 0   | 0,0   |  |       | 0,0   | 0,0  |     | 0,0   | 0,0   |     |       |  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 5                | Le Sucré                     |                    | 538230                         | 198030 | 0 *      | 0 *                             | 70 *                         |           |               | 9,5 °                           | 0,0 °                        | 20,3 °  | N   | 0   | 0,0 |       | 1,9   | 0,0  |       | 0,4                                      | 0,0 |       | 0,4  | N   | 0   | 0,0  |       | 2     | 0,0  |     | 0,4   | 0,0   |     | 0,4   | 0,0  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 6                | La Noiraigue                 | Amont              | 545700                         | 200970 | 2'040 s  | 475 e                           | 280 *                        | 14'000 *  | 7,5 *         | 6,6 *                           | 10,7 *                       | O   | 3   | 7,1   | 38  | 263   | 5,0   | 13   | 88    | 5,0                                      | 13  | 88    | 5,0  | O   | 3   | 6,2  | 72    | 497   | 1,9  | 13  | 88    | 1,9   | 13  | 88    | 1,9  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 6.6              | La Noiraigue                 | Embouchure         | 545820                         | 200450 | 475 e    | 280 *                           | 14'000 *                     |           | 7,9 °         | 6,5 °                           | 11,0 °                       | O   | 3   | 6,9   |     | 287   | 5,0   |      | 88    | 5,0                                      |     | 88    | 5,0  | O   | 3   | 5,9  |       | 474   | 1,9  | 13  | 88    | 1,9   | 13  | 88    | 1,9  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 7                | Merclason                    |                    | 554240                         | 201490 | 600 d    | 50 *                            | 10,3 *                       |           |               | 6,2 °                           | 14,0 *                       | O   | 1   | 0,7   |     |       | 0,5   | 4    |       | 0,5                                      | 4   |       | 0,5  | O   | 1   | 0,1  |       |       | 0,1  | 4   |       | 0,04  | 4   |       | 0,04   | 4  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 8                | Ruisseau de la Vaux          | Fresnes            | 546870                         | 192800 | 20 *     | 0 *                             | 1'000 *                      |           |               | 0,5 °                           | 0,0 °                        | N   | 0   | 0,0   |     |       | 6   | 0,0  |       | 6  | 0,0 |       | 6  | N   | 0   | 0,0  |       | 0,0   |  | 6   | 0,0   |   | 6   | 0,0   |  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 8.8              | Ruisseau de la Vaux          | Vauxmarcus         | 548250                         | 192140 | 20 d     | 0 *                             | 1'000 *                      |           |               | 3,4 *                           | 14,1 *                       | N   | 1   | 0,03  |     |       | 0,03  |      | 6     | 0,0                                      |     | 6     | 0,0  | N   | 0   | 0,0  |       | 0,0   |  | 6   | 0,0   |   | 6   | 0,0   |  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 9                | Ruisseau du Châtelet         |                    | 548570                         | 192900 | 4 e      | 0,4 *                           | 30 *                         |           | 11,4 °        | 5,5 °                           | 19,2 *                       | O   | 1   | 0,04  |     | 1,1   | 0,03  |      | 0,2   | 0,03                                     |     | 0,2   | N  | 0   | 0,0   |  | 1     | 0,0   |  | 0,2 | 0,0   |   | 0,2 | 0,0   |  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 10               | Ruisseau de Trévi            |                    | 548900                         | 193280 | 2 e      | 0,2 *                           | 15 *                         |           | 10,8 °        | 5,4 °                           | 24,4 *                       | O   | 1   | 0,02  |     | 0,5   | 0,01  |      | 0,1   | 0,01                                     |     | 0,1   | N  | 0   | 0,0   |  | 0,3   | 0,0   |  | 0,1 | 0,0   |   | 0,1 | 0,0   |  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 11               | Ruisseau de St-Aubin         |                    | 549500                         | 193690 | 300 e    | 13,4 *                          | 2'500 *                      |           | 10,1 *        | 6,0 *                           | 15,6 *                       | O   | 2   | 5,8   |     | 74    | 1,9   |      | 16    | 1,9                                      |     | 16    | O  | 1   | 0,02  |  | 62    | 0,02  |  | 16  | 0,0   |   | 16  | 0,0   |  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 12               | Avich                        | Gorgier            | 550160                         | 195132 | 150 e    | 20 *                            | 1'500 *                      |           | 8,4 °         | 6,7 °                           | 10,6 °                       | O   | 2   | 2,5   |     | 34    | 0,9   |      | 9     | 0,9                                      |     | 9     | O  | 2   | 0,5   |  | 48    | 0,1   |  | 9   | 0,1   |   | 9   | 0,1   |  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 12.12            | Avich                        | Chez-le-Bart       | 550380                         | 194600 | 150 e    | 29,2 *                          | 3'000 *                      |           | 9,2 *         | 6,0 *                           | 14,0 *                       | O   | 2   | 1,9   |     | 78    | 0,9   |      | 19    | 0,9                                      |     | 19    | O  | 1   | 0,2   |  | 85    | 0,2   |  | 19  | 0,1   |   | 19  | 0,1   |  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 13               | Ruisseau de Tsytel           |                    | 551860                         | 196630 | 2 e      | 0 *                             | 70 *                         |           |               | 2,7 °                           | 0,0 °                        | N   | 0   | 0,0   |     |       | 0,0   |      | 0,4   | 0,0                                      |     | 0,4   | N  | 0   | 0,0   |  | 0,4   | 0,0   |  | 0,4 | 0,0   |   | 0,4 | 0,0   |  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 14               | Le Moulin                    |                    | 552750                         | 197000 | 7,9 e    | 1 *                             | 50 *                         |           | 10,5 °        | 4,5 °                           | 18,9 *                       | O   | 1   | 0,05  |     | 1,6   | 0,05  |      | 0,3   | 0,02                                     |     | 0,3   | N  | 0   | 0,0   |  | 1     | 0,0   |  | 0,3 | 0,0   |   | 0,3 | 0,0   |  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 15               | La Tuilière                  |                    | 554300                         | 198100 | 30 *     | 1,3 *                           | 300 *                        |           | 10,0 °        | 3,4 °                           | 19,5 *                       | O   | 1   | 0,1   |     | 9     | 0,1   |      | 1,9   | 0,2                                      |     | 2     | N  | 0   | 0,0   |  | 8     | 0,0   |  | 2   | 0,0   |   | 2   | 0,0   |  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 16               | Ruisseau de la Verne         |                    | 556670                         | 202070 | 15 e     | 8 *                             | 80 *                         |           | 10,5 °        | 7,2 °                           | 15,6 °                       | O   | 1   | 0,5   |     | 3     | 0,1   |      | 0,5   | 0,1                                      |     | 0,5   | O  | 1   | 0,01  |  | 2     | 0,01  |  | 1   | 0,0   |   | 1   | 0,0   |  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 17               | Ruisseau d'Auvemier          |                    | 557080                         | 203000 | 5 e      | 0,2 *                           | 30 *                         |           | 11,3 °        | 4,6 °                           | 18,4 °                       | O   | 1   | 0,05  |     | 1     | 0,05  |      | 0,2   | 0,01                                     |     | 0,2   | N  | 0   | 0,0   |  | 1     | 0,0   |  | 0,2 | 0,0   |   | 0,2 | 0,0   |  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 18.19.20.21      | Le Seyon                     | Valangin           | 559650                         | 207370 | 865 s    | 80 b                            | 40 s                         | 34'500 s  | 8,3 °         | -0,3 °                          | 19,9 *                       | N   | 0   | 0,0   | 19  | 764   | 0,0   | 5    | 216   | 0,0                                      | 5   | 216   | N  | 0   | 0,0   |  | 28    | 1'110 | 0,0  | 5   | 216   | 0,0   | 5   | 216   | 0,0  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 18.19.20.21.2    | Le Seyon                     | Vauxeyon           | 560500                         | 204570 | 130 d    | 20 d                            | 34'500 d                     |           | 8,9 °         | 0,2 °                           | 19,8 °                       | N   | 0   | 0,0   |     | 851   | 0,0   |      | 216   | 0,0                                      |     | 216   | N  | 0   | 0,0   |  | 1'024 | 0,0   |  | 216 | 0,0   |   | 216 | 0,0   |  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 18               | Le Seyon, scienne Debrot     | Dombresson-Chézard | 562260                         | 212320 | 20 **    | 3 *                             | 500 *                        |           | 8,7 °         | 2,4 °                           | 22,3 *                       | N   | 0   | 0,0   |     | 12    | 0,0   |      | 3     | 0,0                                      |     | 3     | N  | 0   | 0,0   |  | 15    | 0,0   |  | 3   | 0,0   |   | 3   | 0,0   |  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 18.18            | Le Seyon                     | Amont Valangin     | 561448                         | 210108 | 30 **    | 5 *                             |                              |           | 2,5 *         | 2,5 *                           | 19,9 *                       | N   | 0   | 0,0   |     |       | 0,0   |      | 0,0   | 0,0                                      |     | 0,0   | N  | 0   | 0,0   |  |       | 0,0   |  | 0,0 | 0,0   |   | 0,0 | 0,0   |  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 21               | La Sorges                    | Valangin           | 559940                         | 207540 | 18 b     | 15 *                            | 500 *                        |           | 7,4 °         | 1,2 *                           | 13,2 *                       | N   | 0   | 0,0   |     | 9     | 0,0   |      | 3     | 0,0                                      |     | 3     | O  | 1   | 0,2   |  | 18    | 0,1   |  | 3   | 0,1   |   | 3   | 0,1   |  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 38               | Le Sorgeteux                 |                    | 557788                         | 206998 | 4 b      | 4 *                             |                              |           | 3,9 *         | 3,9 *                           | 17,8 *                       | O   | 1   | 0,02</                                      |     |       |   |      |       |  |     |       |  |   |   |  |       |       |  |     |       |   |     |       |  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

- 1) Numérotation définie dans la présente étude
- 2) Valeurs minimales/maximales absolues, sur la base des données à disposition, (voir points a - s)
- 3) Sur la base du débit annuel moyen et de la température moyenne annuelle
- 4) Sur la base du débit de crue et de la température moyenne annuelle
- 5) Puissance thermique théorique calculée selon données disponibles avec un abaissement de la température de la ressource jusqu'à la limitation technique de +3°C
- 6) Puissance exploitable avec abaissement de la température de 1.5°C max., selon législation fédérale (Oeaux Annexe 2)
- 7) Puissance exploitable selon contraintes supplémentaires fixées par le canton. Les critères indicatifs sont température minimale admise dans les cours d'eau, 4°C, température maximale 15°C
- 8) Puissance thermique exploitable par petites installations en série jusqu'à réchauffement du cours d'eau jusqu'à la température de 16°C, limite technique d'utilisation
- 9) Puissance exploitable avec élévation de la température de 1.5°C max. selon Oeaux Annexe 2
- 11) Préavis sur la base de la prise de position du Service de la Faune, à confirmer
- 12) Potentiel important, mais appoint nécessaire

#### ORIGINE DES DONNEES

- \* Valeurs issues de compilation de données existantes, valeurs moyennes et extrêmes des données disponibles, sans signification statistique
- a Mesuré dans le cadre de cette étude
- b Q347 (Atlas hydrologique de la suisse & PGEE Val-de-Ruz)
- c Repris de BMICSA 1981, 1985
- d Valeurs non vérifiées, extrapolation entre 2 tronçons de rivière/affluents à débits connus
- s Valeurs absolues, station fédérale de mesure du débit
- Les cellules sont laissées vides dans le cas de valeurs non connues ou en nombre insuffisant

---

## **Annexe 5.2**

### **Carte du potentiel thermique minimal des eaux de surface en relation avec la demande en énergie de chauffage**

---

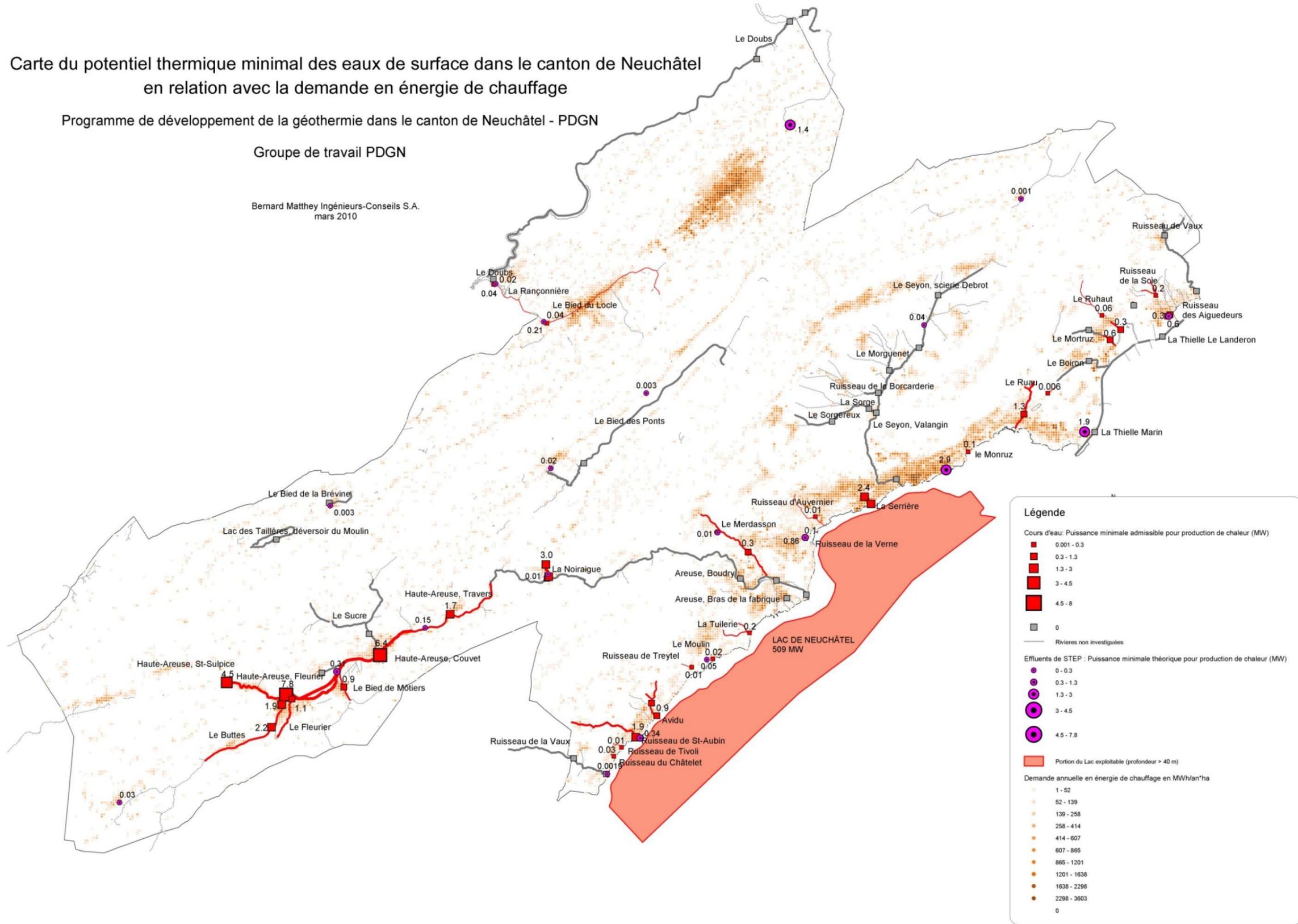


# Carte du potentiel thermique minimal des eaux de surface dans le canton de Neuchâtel en relation avec la demande en énergie de chauffage

Programme de développement de la géothermie dans le canton de Neuchâtel - PDGN

Groupe de travail PDGN

Bernard Matthey Ingénieurs-Conseils S.A.  
mars 2010





---

## **Annexe 5.3**

### **Carte du potentiel frigorifique minimal des eaux de surface en relation avec le volume construit**

---

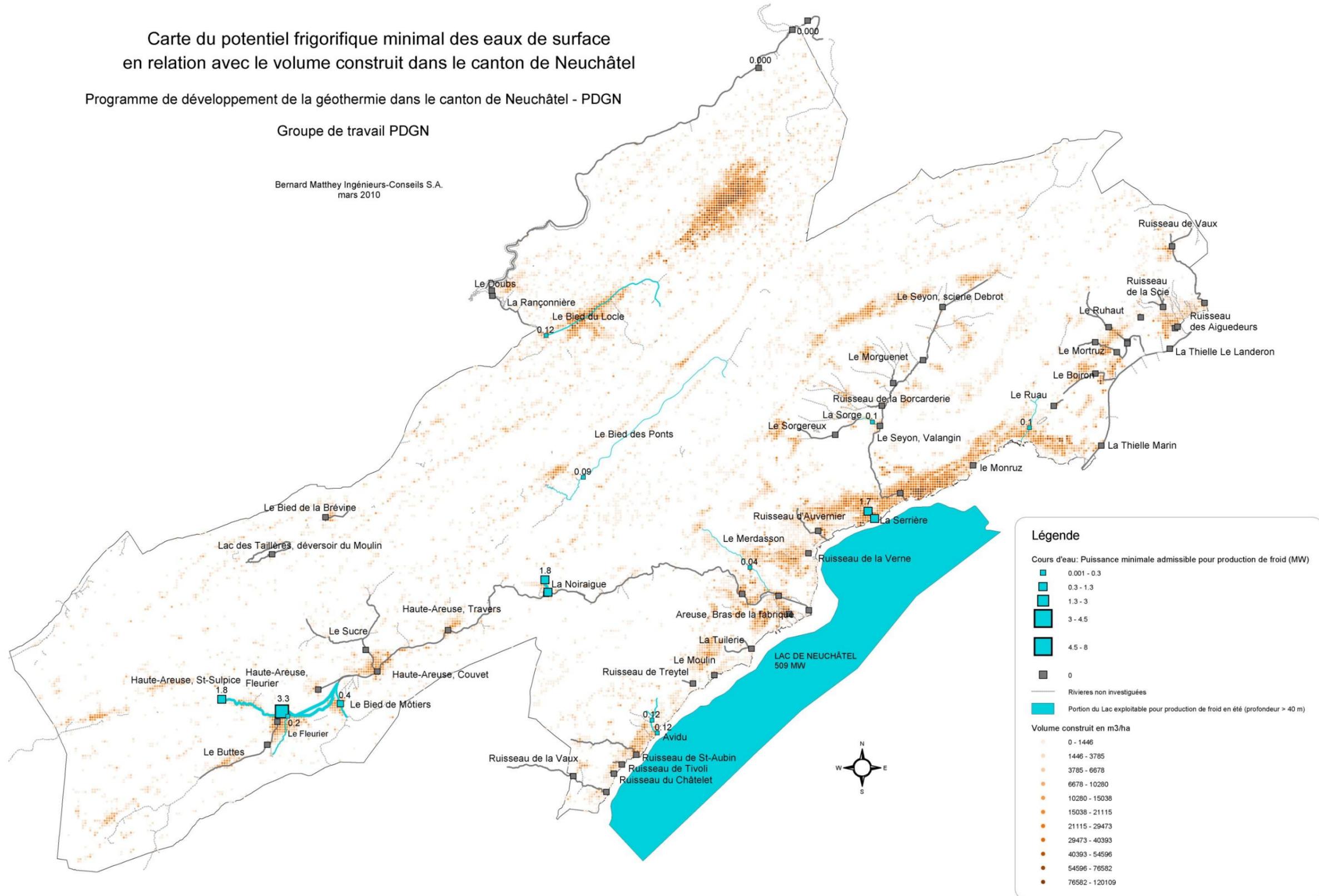


# Carte du potentiel frigorifique minimal des eaux de surface en relation avec le volume construit dans le canton de Neuchâtel

Programme de développement de la géothermie dans le canton de Neuchâtel - PDGN

Groupe de travail PDGN

Bernard Matthey Ingénieurs-Conseils S.A.  
mars 2010



**Légende**

Cours d'eau: Puissance minimale admissible pour production de froid (MW)

- 0.001 - 0.3
- 0.3 - 1.3
- 1.3 - 3
- 3 - 4.5
- 4.5 - 8

0

Rivieres non investiguées

Portion du Lac exploitable pour production de froid en été (profondeur > 40 m)

Volume construit en m3/ha

- 0 - 1446
- 1446 - 3785
- 3785 - 6678
- 6678 - 10280
- 10280 - 15038
- 15038 - 21115
- 21115 - 29473
- 29473 - 40393
- 40393 - 54596
- 54596 - 76582
- 76582 - 120109



---

**ANNEXES CHAPITRE 7 :**  
**ORGANISATION DE SIX SEMINAIRES D'UNE**  
**DEMI-JOURNEE**

---

---

**Annexe 7.1**

**Séminaires d'information aux professionnels :  
Invitation et formulaire d'inscription**

---

# Programme cantonal de développement de la géothermie à Neuchâtel - PDGN



## PROGRAMME GENERAL <sup>1)</sup>

| Public visé <sup>1)</sup>                                  | Date                                       | Lieu   | Réf. séminaire |
|--|--|--|----------------|
| Architectes et ingénieurs du bâtiment                      | mercredi 11 novembre 2009<br>13h45 - 18h00 | Neuchâtel<br>Unimail, salle E301                               | A1             |
| Bureaux techniques, entrepreneurs de forage, installateurs | mercredi 2 décembre 2009<br>13h30 - 17h45  | Fleurier<br>Dépôt la Plasseta, TRN                             | A2             |
| Bureaux techniques, entrepreneurs de forage, installateurs | mercredi 18 novembre 2009<br>13h30 - 18h15 | Peseux<br>ESRN Collège des Coteaux                             | B1             |
| Géologues et spécialistes du sous-sol                      | jeudi 21 janvier 2010<br>13h30 - 18h30     | La Chaux-de-Fonds<br>Néode, parc scientifique et technologique | B2             |
| Services communaux et cantonaux, médias                    | jeudi 10 décembre 2009<br>13h30 - 17h45    | Fleurier<br>Dépôt la Plasseta, TRN                             | G1             |
|  | jeudi 28 janvier 2010<br>13h30 - 17h30     | Hauterive<br>Musée Laténium                                    | C1             |

<sup>1)</sup> Afin de répondre de manière ciblée aux attentes des professionnels neuchâtelois, il a été prévu d'adapter le contenu de chaque séminaire en fonction du public visé. Un programme détaillé est fourni pour chaque événement. Nous remercions les personnes intéressées de s'inscrire à un seul des séminaires proposés, correspondant à leur qualification professionnelle

- Inscription** Les séminaires sont ouverts à tout professionnel/organisations intéressés. Inscription par mail ou par fax à l'aide du formulaire d'inscription fourni et dans les limites des places disponibles à l'adresse suivante:

**info@masai-conseils.com**

**fax: 032 731 44 60**

Délai d'inscription : 2 semaines avant le début de chaque séminaire  
Frais d'inscription : contribution aux frais d'organisation de 20.- encaissée sur place

## SEMINAIRES D'INFORMATION AUX PROFESSIONNELS novembre 2009 à janvier 2010

### - INVITATION -

**Géothermie de faible profondeur et hydrothermie dans le canton de Neuchâtel :  
Potentiel, procédures d'autorisation, dimensionnement et techniques d'exploitation**

- Evénement** Demi-journées d'information répétées d'octobre 2009 à janvier 2010, dans le but de promouvoir l'utilisation de l'énergie du sous-sol pour le chauffage et le rafraîchissement des bâtiments
- Sujets abordés**
  - Possibilités d'exploitation dans le canton et les communes neuchâteloises
  - Procédures d'autorisation
  - Aperçu de l'ensemble des techniques de la géothermie peu profonde avec exemples de réalisation (Pompes à chaleur sur sondes et sur nappe souterraine, pieux et géostructures énergétiques, freecooling)
  - Introduction de la nouvelle norme SIA 384/6
  - Nouveaux outils d'information et de planification disponibles à l'échelle cantonale
  - Visite technique d'une installation
- Public visé** Professionnels neuchâtelois actifs dans les domaines de l'énergie et du bâtiment
- Organisation** Groupement PDGN, sous mandat de l'Etat de Neuchâtel

## SEMINAIRES D'INFORMATION AUX PROFESSIONNELS

novembre 2009 à janvier 2010

*Géothermie de faible profondeur et hydrothermie dans le canton de Neuchâtel :  
Potentiel, procédures d'autorisation, dimensionnement et techniques d'exploitation*

### - Formulaire d'inscription -

#### Données personnelles

Nom : \_\_\_\_\_  
Prénom : \_\_\_\_\_  
Profession : \_\_\_\_\_  
Entreprise / organisation : \_\_\_\_\_  
Fonction professionnelle : \_\_\_\_\_  
Rue n° : \_\_\_\_\_  
Localité : \_\_\_\_\_  
Tel. : \_\_\_\_\_  
Fax. : \_\_\_\_\_  
Courriel : \_\_\_\_\_

#### Inscription

|  | Architectes et<br>ingénieurs du bâtiment | Bureaux techniques, entrepri-<br>ses de forage, installateurs | Géologues et<br>spécialistes du sous-sol | Service communaux,<br>cantonaux, médias |                          |                          |
|--|--|---|--|---|--------------------------|--------------------------|
|  | 11.11.2009                               | 02.12.2009  | 18.11.2009                               | 21.01.2010                              | 10.12.2009               | 28.01.2010               |
| Je désire participer au<br>séminaire n°:<br>(cocher ce qui convient) | <input type="checkbox"/>                 | <input type="checkbox"/>                                      | <input type="checkbox"/>                 | <input type="checkbox"/>                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|  | A1                                       | A2  | B1                                       | B2                                      | G1                       | C1                       |

- **Accès** *Pour chaque séminaire, un plan d'accès est fourni.  
ATTENTION : pour le séminaire B2 (Neode), les places de parc sont limitées, le site est accessible par bus*
- **Public visé** *Dans le cadre du programme de développement de la géothermie, l'organisation de 6 séminaires a été prévue. Un programme détaillé est fourni pour chaque événement. Nous remercions les personnes intéressées de s'inscrire au séminaire correspondant à leur qualification professionnelle. En cas d'empêchement, il sera toutefois admis exceptionnellement de s'inscrire à un séminaire d'une autre catégorie professionnelle*
- **Inscription** *Les séminaires sont ouverts à tout professionnel/organisations intéressés. Inscription par mail ou par fax à l'aide du présent formulaire d'inscription et dans les limites des places disponibles à l'adresse suivante :*

**info@masai-conseils.com**

**fax: 032 731 44 60**

*Délai d'inscription : 2 semaines avant le début de chaque séminaire  
Frais d'inscription : contribution aux frais d'organisation de 20.- encaissée sur place  
Renseignements : 032 731 53 53 Bernard Matthey Ingénieurs-Conseils S.A.*

- **Organisation** *Groupement PDGN, sous mandat de l'Etat de Neuchâtel*

---

**Annexe 7.2**

**Séminaires d'information aux professionnels :  
Programme détaillé**

---

**B2**

## SEMINAIRE D'INFORMATION AUX BUREAUX TECHNIQUES, ENTREPRISES DE FORAGE ET INSTALLATEURS

jeudi 21 janvier 2010 - 13h30- 18h30

NEODE, parc scientifique et technologique - Salle Cirrus  
Eplatures-grise 17, 2300 La Chaux-de-Fonds

*Géothermie de faible profondeur et hydrothermie dans le canton de Neuchâtel :  
Potentiel, procédures d'autorisation, dimensionnement et techniques d'exploitation*

### - PROGRAMME DÉTAILLÉ -

|                        | Thématique  | Contenu   |
|------------------------|---|---|
| <b>13h30</b><br>-13h50 | INTRODUCTION  | La géothermie et l'hydrothermie dans les grandes lignes, les modes d'exploitation de la chaleur du sous-sol<br><i>M. Bernard Matthey, Dr. ès Sciences <sup>1)</sup></i>         |
| <b>13h50</b><br>-14h30 | INSTALLATIONS<br>GÉOTHERMIQUES  | Caractéristiques des pompes à chaleur, aspects techniques, exemples de réalisation<br><i>M. Jeremy Dupuy, ingénieur thermicien <sup>1)</sup></i>                                |
| <b>14h30</b><br>-15h10 | LES SONDES GÉOTHERMI-<br>QUES VERTICALES                              | Dimensionnement, potentiel et procédure d'autorisation dans le Canton de Neuchâtel. Présenta-<br>tion de la nouvelle norme SIA 384/6<br><i>M. Bernard Matthey <sup>1)</sup></i> |
| <b>15h10</b><br>-15h40 | EXPLOITATION DES NAPPES<br>PHRÉATIQUES                                | Mode d'exploitation, potentiel et procédure d'autorisation dans le Canton de Neuchâtel<br><i>M. Marc Affolter, géologue &amp; hydrogéologue dipl. <sup>1)</sup></i>             |
| <b>15h40</b><br>-16h00 | EXPLOITATION DES EAUX<br>DE SURFACE & GÉOSTRUC-<br>TURES ÉNERGÉTIQUES | Mode d'exploitation, potentiel et procédure d'autorisation dans le Canton de Neuchâtel<br><i>M. Marc Affolter <sup>1)</sup></i>   |
| <b>16h00- 16h30</b>    | <i>pause café</i>   |   |
| <b>16h30</b><br>-17h00 | LES CHAMPS DE SONDES<br>GÉOTHERMIQUES ET LES<br>PIEUX ÉNERGÉTIQUES    | Potentiel et aspects techniques des installations de grande dimension, application au secteur<br>locatif ou industriel<br><i>M. Bernard Matthey <sup>1)</sup></i>               |
| <b>17h00</b><br>-17h30 | GÉOTHERMIE DE FAIBLE<br>PROFONDEUR DANS LE<br>CANTON DE NEUCHÂTEL     | Exercice pratique sur la base des documents numériques disponibles à l'échelle du canton - SITN<br><i>M. Marc Affolter <sup>1)</sup></i>  |
| <b>17h30</b><br>-17h40 | INTRODUCTION<br>À LA VISITE TECHNIQUE                                 | Nouveau bâtiment Patek Philippe, La Chaux-de-Fonds. Champ de sondes géothermiques<br><i>M. Pierre Renaud, Planair S.A.</i>  |
| <b>18h00</b><br>-18h30 | VISITE TECHNIQUE  | Nouveau bâtiment Patek Philippe, La Chaux-de-Fonds. Champ de sondes géothermiques<br><i>M. Pierre Renaud, Planair S.A.</i>  |

<sup>1)</sup> Bernard Matthey Ingénieurs-Conseils S.A., 2037 Montezillon

- **Public visé** *En priorité bureaux techniques, entreprises de forage et installateurs. Dans le cadre du programme de développement de la géothermie, l'organisation de 6 séminaires a été prévue. Un programme détaillé est fourni pour chaque événement. Nous remercions les personnes intéressées de s'inscrire au séminaire correspondant à leur qualification professionnelle*
- **Inscription** *Les séminaires sont ouverts à tout professionnel/organisations intéressés. Inscription par mail ou par fax à l'aide du formulaire d'inscription fourni.  
Délai d'inscription : 2 semaines avant le début de chaque séminaire  
Frais d'inscription : contribution aux frais d'organisation de 20.- encaissée sur place*
- **Organisation** *Groupement PDGN, sous mandat de l'Etat de Neuchâtel*

**G1**

## SEMINAIRE D'INFORMATION AUX GÉOLOGUES ET SPÉCIALISTES DU SOUS-SOL

jeudi 10 décembre 2009 - 13h30- 17h45

Dépôt TRN la Piasseta - Salle de séminaires  
2114 Fleurier

*Géothermie de faible profondeur et hydrothermie dans le canton de Neuchâtel :  
Potentiel, procédures d'autorisation, dimensionnement et techniques d'exploitation*

### - PROGRAMME DÉTAILLÉ -

|                 | Thématique  | Contenu   |
|-----------------|---|---|
| 13h30<br>-13h50 | INTRODUCTION  | La géothermie et l'hydrothermie dans les grandes lignes, les modes d'exploitation de la chaleur du sous-sol, rappel du fonctionnement d'une pompe à chaleur<br><i>M. Bernard Matthey, Dr. ès Sciences <sup>1)</sup></i> |
| 13h50<br>-14h30 | LES SONDES GÉOTHERMIQUES VERTICALES                           | Dimensionnement, potentiel et procédure d'autorisation dans le Canton de Neuchâtel. Présentation de la nouvelle norme SIA 384/6<br><i>M. Bernard Matthey <sup>1)</sup></i>  |
| 14h30<br>-15h00 | EXPLOITATION DES NAPPES PHRÉATIQUES                           | Mode d'exploitation, potentiel et procédure d'autorisation dans le Canton de Neuchâtel<br><i>M. Marc Affolter, géologue &amp; hydrogéologue dipl. <sup>1)</sup></i>   |
| 15h00<br>-15h20 | EXPLOITATION DES EAUX DE SURFACE & GÉOSTRUCTURES ÉNERGÉTIQUES | Mode d'exploitation, potentiel et procédure d'autorisation dans le Canton de Neuchâtel<br><i>M. Marc Affolter <sup>1)</sup></i>   |
| 15h20<br>-15h50 | LES CHAMPS DE SONDES GÉOTHERMIQUES ET LES PIEUX ÉNERGÉTIQUES  | Potentiel et aspects techniques des installations de grande dimension, application au secteur locatif ou industriel<br><i>M. Bernard Matthey <sup>1)</sup></i>  |
| 15h50- 16h20    | <i>pause café</i>   |   |
| 16h20<br>-17h00 | GÉOTHERMIE DE FAIBLE PROFONDEUR DANS LE CANTON DE NEUCHÂTEL   | Exercice pratique sur la base des documents numériques disponibles à l'échelle du canton - SITN<br><i>M. Marc Affolter <sup>1)</sup></i>  |
| 17h15<br>-17h45 | VISITE TECHNIQUE  | Dépôt TRN la Piasseta à Fleurier. Pompe à chaleur alimentée par captage dans la nappe phréatique, groupe chaleur-force<br><i>M. Bernard Matthey <sup>1)</sup></i>   |

<sup>1)</sup> Bernard Matthey Ingénieurs-Conseils S.A., 2037 Montezillon

- **Public visé** *En priorité géologues et spécialistes du sous-sol. Dans le cadre du programme de développement de la géothermie, l'organisation de 6 séminaires a été prévue. Un programme détaillé est fourni pour chaque événement. Nous remercions les personnes intéressées de s'inscrire au séminaire correspondant à leur qualification professionnelle*
- **Inscription** *Les séminaires sont ouverts à tout professionnel/organisations intéressés. Inscription par mail ou par fax à l'aide du formulaire d'inscription fourni.  
Délai d'inscription : 2 semaines avant le début de chaque séminaire  
Frais d'inscription : contribution aux frais d'organisation de 20.- encaissée sur place*
- **Organisation** *Groupement PDGN, sous mandat de l'Etat de Neuchâtel*

**C1**

## SEMINAIRE D'INFORMATION AUX SERVICES COMMUNAUX, CANTONAUX ET AUX MÉDIAS

jeudi 28 janvier 2010 - 13h30-17h30

Musée Laténium - Salle de séminaires  
Espace Paul-Vouga, 2068 Hauterive

*Géothermie de faible profondeur et hydrothermie dans le canton de Neuchâtel :  
Potentiel, procédures d'autorisation, dimensionnement et techniques d'exploitation*

### - PROGRAMME DÉTAILLÉ -

|                        | Thématique  | Contenu   |
|------------------------|---|---|
| <b>13h30</b><br>-14h00 | INTRODUCTION  | Présentation du programme de développement de la géothermie dans le Canton de Neuchâtel (PDGN)<br><i>M. François-David Vuataz, CREGE, M. Jean-Luc Juvet, Service de l'énergie</i>   |
| <b>14h00</b><br>-14h30 | LES SONDÉS GÉOTHERMIQUES VERTICALES                         | Potentiel et gestion des autorisations dans le Canton de Neuchâtel. Présentation de la nouvelle norme SIA 384/6<br><i>Mme Isabelle Butty, Service de la protection de l'environnement, M. Bernard Matthey <sup>1)</sup></i> |
| <b>14h30</b><br>-14h45 | EXPLOITATION DES NAPPES PHRÉATIQUES                         | Mode d'exploitation, potentiel et gestion des autorisations dans le Canton de Neuchâtel<br><i>M. Bernard Matthey <sup>1)</sup></i>  |
| <b>14h45</b><br>-15h00 | EXPLOITATION DES EAUX DE SURFACE                            | Mode d'exploitation, potentiel et gestion des autorisations dans le Canton de Neuchâtel<br><i>M. Marc Affolter, géologue &amp; hydrogéologue dipl. <sup>1)</sup></i>  |
| <b>15h00</b><br>-15h20 | LES GÉOSTRUCTURES ÉNERGÉTIQUES                              | Aspects techniques et potentiel d'implantation dans le canton de Neuchâtel<br><i>M. Jules Wilhelm Ingénieur-Conseil</i>   |
| <b>15h20</b><br>-15h35 | LES AQUIFÈRES PROFONDS                                      | Exploitation et potentiel des aquifères profonds dans le canton<br><i>M. François-David Vuataz</i>  |
| <b>15h35-16h00</b>     | <i>pause café</i>   |   |
| <b>16h00</b><br>-16h20 | GÉOTHERMIE DE FAIBLE PROFONDEUR DANS LE CANTON DE NEUCHÂTEL | Présentation des documents numériques disponibles à l'échelle du canton - SITN<br><i>M. Marc Affolter <sup>1)</sup></i>   |
| <b>16h20</b><br>-16h40 | SYNTHÈSE, DISCUSSION  | Conclusions, potentiel et gestion de l'exploitation des ressources cantonales et communales<br><i>M. Bernard Matthey <sup>1)</sup></i>  |
| <b>16h50</b><br>-17h30 | VISITE TECHNIQUE  | Musée Laténium. Installation de rafraîchissement par captage d'eau souterraine (freecooling)<br><i>M. Bernard Matthey <sup>1)</sup></i>   |

<sup>1)</sup> Bernard Matthey Ingénieurs-Conseils S.A., 2037 Montezillon

- **Public visé** *En priorité Services communaux, cantonaux et médias. Dans le cadre du programme de développement de la géothermie, l'organisation de 6 séminaires a été prévue. Un programme détaillé est fourni pour chaque événement. Nous remercions les personnes intéressées de s'inscrire au séminaire correspondant à leur qualification professionnelle*
- **Inscription** *Les séminaires sont ouverts à tout professionnel/organisations intéressés. Inscription par mail ou par fax à l'aide du formulaire d'inscription fourni.  
Délai d'inscription : 2 semaines avant le début de chaque séminaire  
Frais d'inscription : contribution aux frais d'organisation de 20.- encaissée sur place*
- **Organisation** *Groupement PDGN, sous mandat de l'Etat de Neuchâtel*

C1\*

## SEMINAIRE D'INFORMATION AUX SERVICES COMMUNAUX, CANTONAUX ET AUX MÉDIAS

jeudi 28 janvier 2010 - 13h30-17h45

Musée Laténium - Salle de séminaires  
Espace Paul-Vouga, 2068 Hauterive

*Géothermie de faible profondeur et hydrothermie dans le canton de Neuchâtel :  
Potentiel, procédures d'autorisation, dimensionnement et techniques d'exploitation*

### - PROGRAMME DÉTAILLÉ -

|                        | Thématique  | Contenu   |
|------------------------|---|---|
| <b>13h30</b><br>-13h50 | INTRODUCTION  | La géothermie et l'hydrothermie dans les grandes lignes, les modes d'exploitation de la chaleur du sous-sol, rappel du fonctionnement d'une pompe à chaleur<br><i>M. Bernard Matthey, Dr. ès Sciences <sup>1)</sup></i> |
| <b>13h50</b><br>-14h40 | LES SONDES GÉOTHERMIQUES VERTICALES                         | Dimensionnement, recommandations et exemples de réalisation<br><i>M. Bernard Matthey <sup>1)</sup></i>  |
| <b>14h40</b><br>-15h10 | EXPLOITATION DES NAPPE PHRÉATIQUES                          | Mode d'exploitation, potentiel et procédure d'autorisation dans le Canton de Neuchâtel<br><i>M. Marc Affolter, géologue &amp; hydrogéologue dipl. <sup>1)</sup></i>   |
| <b>15h10</b><br>-15h30 | EXPLOITATION DES EAUX DE SURFACE                            | Mode d'exploitation, potentiel et procédure d'autorisation dans le Canton de Neuchâtel<br><i>M. Marc Affolter <sup>1)</sup></i>   |
| <b>15h30-16h00</b>     | <i>pause café</i>   |   |
| <b>16h00</b><br>-16h30 | LES GÉOSTRUCTURES ÉNERGÉTIQUES                              | Aspects techniques et exemples de réalisation. Potentiel d'implantation dans le canton de Neuchâtel<br><i>M. Jules Wilhelm Ingénieur-Conseil</i>  |
| <b>16h30-17h00</b>     | GÉOTHERMIE DE FAIBLE PROFONDEUR DANS LE CANTON DE NEUCHÂTEL | Aperçu des documents disponibles à l'échelle du canton et exemple d'application<br><i>M. Marc Affolter <sup>1)</sup></i>  |
| <b>17h15</b><br>-17h45 | VISITE TECHNIQUE  | Musée Laténium. Installation de rafraîchissement par captage d'eau souterraine (freecooling)<br><i>M. Bernard Matthey <sup>1)</sup></i>   |

<sup>1)</sup> Bernard Matthey Ingénieurs-Consells S.A., 2037 Montezillon

- **Public visé** *En priorité Services communaux, cantonaux et médias. Dans le cadre du programme de développement de la géothermie, l'organisation de 6 séminaires a été prévue. Un programme détaillé est fourni pour chaque événement. Nous remercions les personnes intéressées de s'inscrire au séminaire correspondant à leur qualification professionnelle*
- **Inscription** *Les séminaires sont ouverts à tout professionnel/organisations intéressés. Inscription par mail ou par fax à l'aide du formulaire d'inscription fourni.  
Délai d'inscription : 2 semaines avant le début de chaque séminaire  
Frais d'inscription : contribution aux frais d'organisation de 20.- encaissée sur place*
- **Organisation** *Groupement PDGN, sous mandat de l'Etat de Neuchâtel*