



Rapport final, 20.02.2024

Plan stratégique solaire pour les villes du Locle et de La Chaux-de-Fonds

Destinataire du rapport

Service de l'urbanisme, des mobilités et de l'environnement de la ville de La Chaux-de-Fonds
Pas. Léopold-Robert 3
2301 La Chaux-de-Fonds

Service de l'Urbanisme de la Ville du Locle
Avenue de l'Hôtel-de-Ville 1
2400 Le Locle

Auteur du rapport

LMNT consultancy
Bureau du 111
Place Numa-Droz 2
CH - 2001 Neuchâtel
www.lmntconsultancy.ch

Laure-Emmanuelle Perret
laure@lmntconsultancy.ch
+41 76 451 58 77

Version du document : v. 5 – 20.02.2024

Table des matières

1	Impressum	4
2	Introduction	5
2.1	Plan stratégique solaire – enjeux et objectifs	5
2.2	Intention et positionnement	5
3	Éclairage historique sur Le Locle et La Chaux-de-Fonds : des villes au cœur de l'innovation	7
3.1	Introduction	7
3.2	Un contexte historique propice au développement de savoir-faire spécifiques (artisans, architecturaux, industriels, technologiques)	7
4	Spécificités et cadre légal	13
4.1	La Chaux-de-Fonds, Le Locle : un urbanisme horloger inscrit au patrimoine mondial	13
4.2	Cadre législatif et réglementaire	18
5	Acceptabilité urbaine des installations solaires, descriptif et mise en œuvre selon la méthode LESO-QSV	25
5.1	Bases théoriques	25
5.2	La Méthode	29
6	Solutions technologiques	32
6.1	Normes et contraintes structurelles	33
6.2	Les différents types de panneaux photovoltaïques	33
7	Mise en œuvre de la Méthode dans les contextes particuliers du Locle et de La Chaux-de-Fonds	39
7.1	Identification des zones de sensibilité	39
7.2	Visibilité	44
7.3	Cartes des zones de visibilité	47
8	Critères et grille d'acceptabilité	51
8.1	Toitures plates	52
8.2	Toitures inclinées	54
8.3	Façades, garages et mobilier urbain	57
9	Calcul du potentiel solaire des différentes zones de sensibilité au Locle et à La Chaux-de-Fonds	59
9.1	Résumé du calcul de potentiel	62
10	Modèles économiques	64
10.1	Contexte	64
10.2	Liste et première analyse des variantes d'installations solaires photovoltaïques en vue du financement	64
10.3	Conditions cadres incitatives	70
11	Recommandations	72
11.1	Mise en œuvre de la stratégie	72



11.2	Actions de communication _____	72
12	Bibliographie _____	74
13	Annexes _____	76
13.1	Un cas d'école : La coopérative solaire Neuchâtel Coopsol _____	76
14	Table des figures _____	78

1 Impressum

Étude réalisée sous la direction de Laure-Emmanuelle Perret, experte scientifique dans l'énergie solaire et directrice de LMNT consultance en collaboration avec l'Office Fédéral de la Culture, le Canton de Neuchâtel et les Villes du Locle et de La Chaux-de-Fonds.

Ont également participé à l'étude : Joëlle Fahrni, ingénieure énergie & environnement pour LMNT consultancy, Noëlle-Laetitia Perret, Dr historienne pour l'Institut Arthur Piaget, Maria Cristina Munari Probst, Dr architecte experte en intégration solaire et chargée de cours EPFL, Séverine Scalia-Giraud, ingénieure et directrice de Masai Conseils SA, Grégory Sandoz, ingénieur pour Masai Conseils SA, Valentine Arrieta, ingénieure environnement et directrice de Géoconseil SA, Diego Fischer directeur de Diego Fischer Solar and Engineering et Thomas Pfefferlé, journaliste RP.

Comité de pilotage

M. Benoît Dubosson	Office Fédéral de la Culture, Section culture du bâti
M. Stefano Giamboni	Canton de Neuchâtel, Service de l'Energie et de l'environnement
M. Antoine Gauthiez	Canton de Neuchâtel, Office du patrimoine et de l'archéologie (Jusqu'au 31.03.23)
M. Jacques Bujard	Canton de Neuchâtel, Office du patrimoine et de l'archéologie (du 01.04 au 30.06.23)
M. Frédéric Frank	Canton de Neuchâtel, Office du patrimoine et de l'archéologie (dès le 01.07.23)
M. Youri Jubin	Ville du Locle, Architecte Communal
M. Philippe Carrard	Ville de La Chaux-de-Fonds, Urbaniste Communal (Jusqu'au 30.11.22, non remplacé)
Mme Anne-Véronique Robert	Ville de La Chaux-de-Fonds, Responsable du secteur des permis de construire
M. Yoan Vuillemez	Ville de La Chaux-de-Fonds, Gestionnaire de Site inscrit patrimoine mondial de l'UNESCO

Groupe d'accompagnement

M. Pierre-André Ottoz	Office Fédéral de la Culture, Section culture du bâti
M. Antoine Gauthiez	Canton de Neuchâtel, Office du patrimoine et de l'archéologie (Jusqu'au 31.03.23 – non remplacé)
M. Yoan Vuillemez	Ville de La Chaux-de-Fonds, Gestionnaire de Site inscrit au patrimoine mondial de l'UNESCO

2 Introduction

2.1 Plan stratégique solaire – enjeux et objectifs

En Suisse, le solaire est une nécessité pour atteindre les objectifs définis par la « Stratégie énergétique 2050 ». Dans notre pays, les toits et les façades ont le potentiel de fournir la demande annuelle d'électricité suisse avec une production d'environ 50 TWh/an pour les toits et jusqu'à 17 TWh/an pour les façades.

Dans le cadre de la Stratégie énergétique 2050 et du Plan climat neuchâtelois 2022 – 2027, les villes du Locle et de La Chaux-de-Fonds sont confrontées à une situation complexe. D'un côté, les objectifs de la transition énergétique qui nécessitent de pouvoir augmenter la production locale d'énergie renouvelable dans de larges proportions. De l'autre, le patrimoine bâti de ces villes, inscrit au patrimoine mondial de l'UNESCO et à l'Inventaire fédéral des sites construits d'importance nationale à protéger en Suisse ISOS, pose certains questionnements en matière d'installation de panneaux photovoltaïques sur les ouvrages recensés au Plan de Site. Le cadre réglementaire actuel limite donc, dans certaines zones, les propriétaires et les autorités dans leurs projets. Pourtant, la volonté de s'orienter clairement vers une voie durable et efficiente est plus que palpable, tant du côté des habitants que des autorités. La présente étude a pour objectif de fournir des pistes de réflexion inclusives et des propositions concrètes aux deux villes afin de permettre le déploiement de dispositifs solaires et de contribuer à la transition énergétique tout en préservant le patrimoine.

2.2 Intention et positionnement

Centrée sur les enjeux durables fondamentaux qui concernent notre époque, cette étude considère aussi de près les atouts et l'importance, tant historique que pratique, du patrimoine urbain des villes du Locle et de La Chaux-de-Fonds. Ce plan stratégique tient ainsi compte de ces deux dimensions. Une approche complémentaire et ouverte qui permet de conjuguer habilement conservation et valorisation du patrimoine avec les enjeux énergétiques actuels ; l'idée consistant à offrir des possibilités concrètes aux habitants et propriétaires qui, comme mentionné, souhaitent s'impliquer activement dans le développement de la production énergétique locale durable. Une donne particulièrement actuelle aujourd'hui, notamment en raison de l'augmentation du prix de l'énergie et des risques de pénurie. Cette problématique, exacerbée par le conflit en Ukraine, pousse de plus en plus de citoyens à vouloir participer au développement du paradigme énergétique durable. Une volonté que l'on ne peut que saluer et accompagner. En même temps, il est évident que cet accompagnement doit se faire au sein d'un certain cadre. Ce rapport a donc pour but d'en esquisser les contours, en prenant soin de le fonder sur des paramètres patrimoniaux, réglementaires, architecturaux, énergétiques et durables qui soient à la fois exhaustifs, adaptatifs, efficaces et inclusifs.

D'emblée, la stratégie préconisée peut être énoncée ainsi : le potentiel photovoltaïque le plus important, prometteur et aisé à déployer concrètement se trouve principalement dans les zones se trouvant en dehors des périmètres inscrits au patrimoine mondial de l'UNESCO, ainsi que des périmètres identifiés par l'inventaire fédéral ISOS comme étant les plus sensibles. Ainsi, la volonté de délocalisation des installations photovoltaïques vers les zones les moins sensibles est préconisée. Avant toute construction solaire dans les zones sensibles, toute autre solution devra être évaluée au préalable et une délocalisation sera fortement recommandée. En effet, l'aspect patrimonial est prépondérant dans les zones de sensibilité haute et seules les installations parfaitement intégrées et cohérentes en regard du bâti existant pourraient y être autorisées. Les simulations réalisées, présentées plus tard dans le présent rapport, le démontreront en détail, avec un focus sur les zones dites à sensibilité moyenne et basse. Le potentiel photovoltaïque des zones inscrites au patrimoine mondial de l'UNESCO, ainsi que des périmètres recensés par l'inventaire fédéral ISOS avec un objectif de protection maximal A – soit à sensibilité haute – ne représente, comme nous l'avons

calculé selon les recommandations que nous faisons dans cette étude, que 24% du potentiel total pour la ville du Locle et respectivement 26% pour la ville de La Chaux-de-Fonds.

Concernant la conservation du patrimoine, le positionnement proposé par cette étude peut être énoncé comme suit : il est tout à fait possible, et souhaitable, de conserver et valoriser le précieux patrimoine urbain des deux villes tout en y développant la production d'énergie solaire dans de larges proportions. Dans le contexte du domaine horloger, la prise en compte de la dimension solaire est en fait une réalité depuis des décennies. Historiquement, ces villes ont bâti leurs infrastructures en suivant les plans d'une minutieuse intégration de la lumière et de la chaleur naturelles au sein des ateliers et des habitats. Villes solaires avant l'heure, Le Locle et La Chaux-de-Fonds bénéficient donc de multiples atouts industriels, sociétaux, énergétiques et architecturaux pour continuer à se positionner en tant que telles. Ce positionnement doit désormais s'orienter en privilégiant une production d'énergie durable locale efficiente. Et, contrairement à l'apparente problématique d'opposition entre le patrimoine bâti et l'efficacité photovoltaïque, ces deux aspects sont porteurs et complémentaires, le patrimoine bâti représentant en fait un réel atout dans l'optique de développer la production photovoltaïque. C'est pourquoi une importante partie du présent rapport est consacrée à cette dimension historique, pour mieux cerner ces enjeux et atouts et les prendre en compte dans l'équation photovoltaïque et architecturale actuelle.

Comme vu plus haut, la délocalisation des installations solaires vers les zones les moins sensibles est à privilégier et doit être recommandée. Cependant, certaines installations pourraient voir le jour dans les zones plus sensibles, sous certaines conditions strictes. Les technologies solaires dont on dispose aujourd'hui permettent de conjuguer habilement contraintes architecturales et production d'énergie solaire. En toitures mais aussi en façades, de différentes couleurs et textures, les dispositifs photovoltaïques développés par les filières industrielles actuelles, notamment établies en Europe, constituent autant de solutions à explorer pour bâtir un paradigme architectural énergétique aussi novateur qu'inclusif. Mais l'innovation ne peut faire sens que si elle est intégrée de manière réfléchie. Une réflexion qui se traduit, comme vous le verrez en détail au fil du présent rapport, par l'identification de zones clés segmentées par leur typologie, au sein desquelles les approches et technologies préconisées vont différer.

L'approche de ce rapport repose donc sur un modèle protéiforme, présentant les diverses articulations possibles pour déployer un plan photovoltaïque agile et adaptatif, l'idée étant d'offrir un cadre clair pour que chaque projet, en fonction des contraintes et aspects architecturaux, techniques, technologiques, financiers, énergétiques et sociétaux, puisse bénéficier d'un cadre de réflexion qui lui soit propre pour être mené à bien. Cette démarche a nécessité une collaboration étroite entre les différentes parties prenantes, Office Fédéral de la Culture, Canton de Neuchâtel et Villes du Locle et de La Chaux-de-Fonds afin d'établir une stratégie la plus réaliste possible et tenant compte des contraintes et enjeux principaux.

3 Éclairage historique sur Le Locle et La Chaux-de-Fonds : des villes au cœur de l'innovation

3.1 Introduction

L'Office fédéral de la culture invite les villes voisines de La Chaux-de-Fonds et du Locle, inscrites conjointement sur la Liste du patrimoine mondial de l'UNESCO depuis 2009, ainsi qu'à l'inventaire fédéral ISOS, à réaliser une étude afin de déterminer et de planifier une stratégie solaire permettant le développement des énergies renouvelables, tout en préservant les qualités architecturales et patrimoniales de ce site universellement reconnu. La démarche implique des spécialistes de tous bords : des urbanistes, architectes, ingénieurs, spécialistes du solaire, gestionnaires de Site UNESCO et aussi des historiens.

Nombreux sont les acteurs qui ont su mettre en évidence la richesse et les particularités de cette histoire, à travers de nombreuses publications (dont nous indiquons quelques titres dans la bibliographie ci-jointe). L'établissement du dossier de candidature, mené sous la houlette de l'architecte du patrimoine Jean-Daniel Jeanneret, a été l'occasion de mettre en évidence, de manière inédite, cette vaste histoire de l'urbanisme des deux villes. Une version allégée de cet imposant dossier, déposé à Paris en 2007, a pris la forme d'un bel ouvrage grand public, paru aux Éditions G d'Encre en 2009.

Il ne s'agira donc pas ici d'apporter des éléments nouveaux mais plutôt de proposer un éclairage, sur quelques moments marquants, qui pourra servir la réflexion que nous souhaitons mener autour de cet héritage que nous partageons. Quelles ont été les principales étapes qui ont permis aux villes du Locle et de La Chaux-de-Fonds d'être, aujourd'hui, reconnues internationalement comme un pôle d'excellence dans le domaine de l'horlogerie et de la haute technologie ? Qui en ont été les pionniers ? A quelle époque ? Dans quelles circonstances ?

Ce parcours de nature « historique » souhaite avant tout mettre à disposition des clés de lecture qui permettront de faire des choix stratégiques et de prendre des décisions en s'appuyant sur ce « sol » que constitue notre passé.

3.2 Un contexte historique propice au développement de savoir-faire spécifiques (artisanaux, architecturaux, industriels, technologiques)

Avant les paysans horlogers : la colonisation des Montagnes neuchâteloises

Qui ont été les premiers habitants des Montagnes neuchâteloises ? Pourquoi parle-t-on du Locle comme de la « Mère-Commune » ? A quelle époque remontent les premières traces d'une activité horlogère dans la région ? Pourquoi remonter aux fondements de l'histoire de la région ? Parce que le développement de l'horlogerie se prépare déjà dans les mentalités des paysans qui défrichèrent les vastes forêts qui recouvraient la région.

Les origines

Avant d'être façonnés par ses habitants, les territoires du Locle et de La Chaux-de-Fonds sont des territoires recouverts de vastes et denses forêts. Même si l'on a retrouvé quelques traces d'ours et une monnaie romaine, attestant d'une activité humaine dans la région, les premiers colons semblent véritablement s'installer dans la région vers le milieu du XIIe siècle, début des importants défrichements des forêts qui recouvrent le territoire.

C'est précisément à cette époque, que la vallée du Locle est offerte, par les seigneurs de Valangin, à l'abbaye de Fontaine-André (située à La Coudre près de Neuchâtel et fondée en 1143). Cet acte de donation ne mentionne pas l'existence de communautés organisées ; il faut attendre le milieu du XIV^e siècle pour voir se former Le Locle et La Sagne, « les mères-communes », premiers villages des Montagnes neuchâteloises.

En 1351, les seigneurs de Valangin, en échange de droits, retrouvent leurs biens légués deux siècles auparavant à l'abbaye. En 1372, cette même seigneurie accorde aux habitants de ces villages des lettres de franchises qui définissent leurs droits et leurs devoirs. En la matière, les habitants de ces communautés sont assez bien logés : ils jouissent d'une certaine autonomie et de réductions d'impôts. Les seigneurs de Valangin ont en effet tout intérêt, pour augmenter leurs revenus, de favoriser les travaux de déboisages et d'exploitation des terres. La seigneurie accorde donc des droits particuliers à ceux qui veulent bien s'aventurer dans ces contrées.

Pendant cette période, le nombre d'habitants reste cependant encore limité : Le Locle et La Sagne comptent, à eux deux, environ 250 personnes. Cette population augmente sensiblement au XV^e siècle sous l'effet de défrichements importants qui favorisent le développement d'exploitations. En 1592, la seigneurie de Valangin est intégrée au comté de Neuchâtel, moyennant un arrangement financier.

Le site de La Chaux-de-Fonds est un village plus récent. Dès le début du XIV^e siècle, deux vagues de colons se succèdent, composées d'abord d'habitants du Val-de-Ruz puis du Locle et de La Sagne. En 1532, La Chaux-de-Fonds compte sept feux (soit environ 35 personnes) et sa mairie n'est instaurée qu'en 1656. Le lieu de la future Métropole horlogère avait été choisi en raison d'une source située au carrefour des chemins reliant Neuchâtel à Montbéliard, et Le Locle à l'évêché de Bâle.

Le Locle et La Chaux-de-Fonds au cœur d'une « géopolitique » neuchâteloise

Sur le plan politique, le pouvoir au sein du Comté de Neuchâtel est détenu par les riches familles patriciennes du Littoral. Les habitants des Montagnes sont alors dans une position de faiblesse et doivent régulièrement se battre, par le biais de la bourgeoisie de Valangin qui les représente, pour conserver leurs acquis ou essayer de faire valoir leurs intérêts. Ils se forgent ainsi une image de corps contestataire, soucieux de défendre les libertés populaires acquises au Moyen Âge. Le XVIII^e siècle voit deux événements d'importance marquer le cours de la vie du Comté de Neuchâtel.

La mort de Marie de Nemours en 1707 laisse Neuchâtel sans souverain. Au terme d'un long processus, parmi une vingtaine de prétendants, les Neuchâtelois décident finalement d'attribuer la souveraineté au roi de Prusse. Il a plusieurs atouts à son actif : de confession protestante, il règne sur une contrée lointaine... ce qui laisse présager d'une bonne marge de manœuvre pour la principauté de Neuchâtel désormais prussienne. Cette période est considérée comme l'une des plus fastes pour l'économie et la culture de la région. Neuchâtel se retrouve alors au cœur de la géopolitique européenne, jouant des alliances, protections et opportunités offertes par ses voisins directs et par son lointain souverain. Bien qu'entré au sein de la Confédération en tant que 21^{ème} canton en 1814, Neuchâtel bénéficie d'un statut hybride de canton suisse et de principauté relevant de la maison Hohenzollern. Cette situation subsiste jusqu'au traité de Paris du 26 mai 1857, qui marque l'abandon de ses droits sur Neuchâtel par le roi de Prusse.

En 1789, la Révolution française éclate. Cet événement bénéficie d'un grand retentissement dans les Montagnes neuchâteloises qui se montrent perméables aux idées nouvelles. Cette situation s'explique notamment par la présence de tensions sociales préexistantes entre les habitants (pas les mêmes droits s'ils possèdent ou non le statut de bourgeois) et par la proximité de la Franche-Comté. Bien que passé en 1806 entre les mains de Napoléon et gouverné par un de ses maréchaux, Alexandre Berthier, Neuchâtel bénéficie toujours d'une certaine autonomie. Redevenu prussien

après la chute de Napoléon en 1814, Neuchâtel adhère parallèlement au Pacte fédéral. En 1848, à la suite d'une révolution, la Principauté de Neuchâtel devient un canton suisse à part entière.

Des paysans horlogers, entre mythe et réalité

Comment imaginer ces paysans horlogers dans leur ferme vers la fin du XVIII^e siècle ? Quelques témoignages de l'époque viennent nous renseigner, même si ceux-ci servent avant tout à fonder et construire un discours historique sur l'horlogerie. Ces histoires évoquent le plus souvent un climat rigoureux, des terres peu propices aux cultures, les fonds de vallée marécageux, la dureté des conditions de vie comme autant d'éléments qui auraient amenés ces premiers habitants à devoir s'adapter et à développer des activités particulières. Les événements d'ordre politique et religieux, évoqués plus haut, ont certainement également contribué à forger des sensibilités, une compréhension du monde, des modes de vie et des activités qui se sont perpétués à travers le temps. Parmi ces anciens récits, qui oscillent entre mythe et réalité, nombreux sont ceux qui évoquent également des facteurs culturels : la religion réformée encouragerait le travail méticuleux et aussi un haut niveau d'instruction de la population.

L'un des témoignages les plus connus est celui de Jean-Jacques Rousseau qui, dans sa Lettre à d'Alembert, en 1758¹, s'émerveille en observant ces paysans horlogers à l'œuvre :

« Je me souviens d'avoir vu dans ma jeunesse aux environs de Neuchâtel un spectacle assez agréable et peut-être unique sur la terre. Une montagne entière couverte d'habitations dont chacune fait le centre des terres qui en dépendent ; en sorte que ces maisons, à distances aussi égales que les fortunes des propriétaires, offrent à la fois aux nombreux habitants de cette montagne, le recueillement de la retraite et les douceurs de la société. Ces heureux paysans, tous à leur aise, francs de tailles, d'impôts, de subdélégués, de corvées, cultivent, avec tout le soin possible, des biens dont le produit est pour eux, et emploient le loisir que cette culture leur laisse à faire mille ouvrages de leurs mains, et à mettre à profit le génie inventif que leur donna la Nature. L'hiver surtout, temps où la hauteur des neiges leur ôte une communication facile, chacun renfermé bien chaudement, avec sa nombreuse famille, dans sa jolie et propre maison de bois qu'il a bâtie lui-même, s'occupe de mille travaux amusants, qui chassent l'ennui de son asile, et ajoutent à son bien-être. Jamais Menuisier, Serrurier, Vitrier, Tourneur de profession n'entra dans le pays ; tous le sont pour eux-mêmes, aucun ne l'est pour autrui ; dans la multitude de meubles commodes et même élégants qui composent leur ménage et parent leur logement, on n'en voit pas un qui n'ait été fait de la main du maître. Il leur reste encore du loisir pour inventer et faire mille instruments divers, d'acier, de bois, de carton, qu'ils vendent aux étrangers, dont plusieurs même parviennent jusqu'à Paris, entre autres ces petites horloges de bois qu'on y voit depuis quelques années. Ils en font aussi de fer, ils font même des montres ; et, ce qui paraît incroyable, chacun réunit à lui seul toutes les professions diverses dans lesquelles se subdivise l'horlogerie, et fait tous ses outils lui-même... »

Le développement d'une industrie horlogère dans une région aux conditions a priori peu propices s'explique donc en fonction de plusieurs facteurs. Il s'agit d'un phénomène aussi bien culturel et social qu'économique et politique. Au-delà du mythe auquel ont participé Rousseau, ou encore Ostervald, il y a une réalité : la population des Montagnes vit en partie de l'agriculture et en partie de l'industrie.

Incendies : des catastrophes... fondatrices

Dans la nuit du 4 au 5 mai 1794, un incendie enflamme La Chaux-de-Fonds. On raconte que le feu prit dans la maison d'un certain Grisard qui renfermait... un tonneau de poudre. A quelques maisons près, l'ensemble de la localité brûla. Au Locle, ce ne sont pas un, mais quatre incendies qui se sont

¹ Jean-Jacques Rousseau, Lettre à D'Alembert sur les spectacles, 1758 (www.rousseauonline.ch)

également présentés comme des moments de renouveau. C'est du moins ainsi que l'ont interprété les générations qui ont suivi ces événements.

Des reconstructions furent entreprises en s'appuyant sur des consensus établis entre intérêts privés et publics. Des projets qui furent également accompagnés de soucis « hygiénistes », sociaux et économiques. L'activité menée dans cette région étant principalement liée à l'horlogerie, ces villes furent agencées en fonction de ce domaine de production spécifique faisant la synthèse des intérêts privés et publics. Chacun des plans de reconstruction établis après les incendies atteste la volonté des autorités locales d'imposer un ordre, dans un souci de rationalisation de l'habitat et des lieux de travail.

La Chaux-de-Fonds n'est pas la seule ville suisse à s'être organisée à partir d'une industrialisation particulière. On peut en effet mentionner Winterthur et Baden (industrie lourde), Bienne (horlogerie et automobile), Saint-Gall (textiles), Olten (ateliers ferroviaires), Laufon (porcelaine). En revanche, à la différence de la planification de ces villes, celle du Locle et La Chaux-de-Fonds remonte au 19^{ème} siècle et donc à une époque bien plus ancienne que pour les autres cités mentionnées.

Jusqu'à l'apparition des usines dans la seconde partie du XIX^e siècle, on fait de l'horlogerie partout dans ces deux villes. Dans les ateliers, mais aussi dans les appartements : dans les chambres, dans les cuisines. Les commis circulent, courant d'un horloger à l'autre pour récolter des pièces et les porter à l'établissement. C'est un va-et-vient continu dans les rues. C'est précisément à cette époque que La Chaux-de-Fonds décide de mettre une ruche sur son blason !

Entre 1794 et 1914, La Chaux-de-Fonds s'est développée. Vers 1900, 55% de la production mondiale de montres passe par la Métropole horlogère.

Le mode de production propre à l'horlogerie a largement influencé la construction des maisons. C'est surtout de lumière dont on a alors besoin. Les ateliers situés au rez-de-chaussée, ou dans les parties supérieures sont dotés de bandes de fenêtres, juste entrecoupées de légers meneaux. Au Locle, comme à La Chaux-de-Fonds, nombreuses sont les maisons qui présentent encore ces caractéristiques. L'ingénieur des ponts et chaussées de l'Etat de Neuchâtel Charles-Henri Junod, à l'origine du plan de la ville en damier, a tenu compte, entre autres, de ces besoins de lumière en espaçant suffisamment les rues et les maisons.

Les tragiques incendies ont marqué les esprits et conduit à tirer des enseignements dans la construction des bâtiments. Approuvé le 22 juillet 1833, le Règlement pour la Police des constructions prescrit d'utiliser la pierre pour les façades sur toute leur hauteur, des tuiles ou ardoises, pour la couverture ainsi que de pourvoir les bâtiments contigus de murs coupe-feu jusqu'au faite du toit. Le 19 mars 1834, la Loi (cantonale) sur les constructions est adoptée ; elle cherche également à prévenir tout dégât par le feu. En plus de définir des matériaux, ces décrets consolident des procédures déjà en vigueur qui touchent à l'alignement comme règle indiscutable, prohibent les saillies, encorbellements et galeries. Des organes de contrôle sont également établis.

Comme le souligne bien l'étude historique parue en 2009², « il faut relever ici l'esprit d'ouverture des propriétaires prêts unanimement à envisager l'avenir en plaçant le bien collectif avant le leur, prêts à renoncer à la structure ancestrale de la propriété pour permettre l'édification d'un village nouveau, régénéré. Cela s'inscrit dans un état d'esprit identique à celui qui permit l'émergence de l'industrie horlogère dans un temps où la structure de production était encore artisanale ailleurs ». Comme nous allons le voir dans les lignes qui vont suivre, un élan commun similaire va trouver l'occasion de s'exprimer, un siècle et demi plus tard. Avant d'entrer plus spécifiquement dans ce chapitre récent

² Dossier de candidature "La Chaux-de-Fonds / Le Locle, urbanisme horloger", p. 180, <https://urbanisme-horloger.ch/dossier-de-candidature>

de l'histoire, il nous faut cependant encore rappeler les circonstances et l'impact qu'a exercé la crise horlogère des années 1970-1980 sur plusieurs décennies.

A la veille de cette grave récession, le canton de Neuchâtel ne connaît pas la crise. En 1969, celui-ci compte 166'876 habitants dont 42'940 à La Chaux-de-Fonds et 36'685 à Neuchâtel. Le Locle compte 14'936 personnes.

La crise horlogère des années 1970-1980 : une terrible secousse

La crise horlogère endurée dans les années 1970-1980 a représenté un moment particulièrement marquant dans l'histoire de la région. Parmi d'autres historiens qui se sont penchés sur cet épisode douloureux, l'historien Francesco Garufo a travaillé la question dans sa thèse de doctorat parue en 2015 aux éditions Antipodes.

En 1975, la période des Trente Glorieuses touche à sa fin. Le choc pétrolier en 1973, le passage des taux de change fixes aux taux de change flottants ont déjà mis à mal l'industrie d'exportation suisse, à cause du renchérissement du franc. L'horlogerie connaît parallèlement une crise sectorielle. Ses structures sont dépassées. La production chute. Les usines ferment. Comme l'a souligné Francesco Garufo³ : « dans le canton, l'emploi horloger chute de 17 209 actifs en 1974 à 7500 en 1988 » (...) « Sur le plan de l'horlogerie suisse dans son ensemble, on passe de 89'000 à 29'000 emplois entre 1970 à 1987. La disparition de deux tiers des emplois, c'est vraiment gigantesque ». La crise, autant qu'économique, est sociale.

Sous l'effet de la crise, la structure de l'horlogerie change : quelques grands groupes dominent l'horlogerie mais leurs centres de décisions se situent désormais ailleurs, hors du Canton de Neuchâtel, avec l'impact fiscal que cela implique. Conséquence quasi immédiate, ville riche jusqu'au milieu des années 1970, La Chaux-de-Fonds, notamment, se voit détrônée par Neuchâtel. Dans le Haut, il y aura désormais moins d'emplois, moins de résidents, de moins en moins de centres de décisions et de centres de formation ».

Les années 1980 : une crise qui persiste

L'horlogerie peine à se relever. 1982 et 1983 sont des années de grande crise pour le canton. A La Chaux-de-Fonds, l'emploi, qui était repassé au-dessus de la barre des 20 000 postes de travail, retrouve ses niveaux de 1976. L'horlogerie, elle, est au plus bas. En 1988, les effectifs employés dans la Métropole horlogère s'affichent à moins de 4000 collaborateurs.

Les années 1990 et 2000 : une certaine embellie

La décennie 1990 est marquée par un retour de la croissance démographique dans le canton. Une légère embellie avait marqué la fin des années 1980. Entre 1990 et 2000, celle-ci se traduit par une augmentation de 3,84% de la population. A la fin 1999, le canton compte 165'594 habitants.

On retrouve alors presque les chiffres de la fin des années 1960. Les villes retrouvent aussi des couleurs. Neuchâtel passe la barre des 31 000 habitants ; La Chaux-de-Fonds celle des 37 000. Les années 2000 voient la croissance se confirmer. Sur le plan de l'emploi, La Chaux-de-Fonds a retrouvé le niveau des années fastes avec plus de 20 000 postes de travail. Cette embellie ne se confirme cependant pas sur la durée. En 2019, la population est en recul. Afin d'enrayer ce déclin démographique, différentes initiatives sont lancées.

³ Arcinfo, « Le canton de Neuchâtel reste marqué par la crise horlogère des années 1970-1980 », 07.02.2020

Face aux problèmes structurels : une envie de se réinventer

En 2015, le Canton de Neuchâtel occupe une place un peu paradoxale dans le paysage suisse : il est simultanément le sixième meilleur contributeur au PIB par habitant du pays (grâce à l'horlogerie, à la microtechnique, à l'appareillage médical, etc.), mais possède, avec 5,5%, le pire taux de chômage de Suisse ; 7,3% à La Chaux-de-Fonds et 7,1% au Locle. Et un bas salaire médian.

Conscients des difficultés, milieux économiques et politiques affirment la nécessité de faire preuve d'innovation et de créativité. Sans entrer ici dans le détail des discussions et initiatives engagées, il importe de souligner que des moyens importants sont débloqués pour dynamiser les relations entre la Métropole horlogère et les entreprises de la région.

En 2021, les autorités de La Chaux-de-Fonds organisent encore une conférence de presse à l'aéroport pour lancer le projet « Up La Chaux-de-Fonds » qui vise à « dresser des ponts entre l'économie et la politique, renforcer l'attractivité de la ville, faciliter les tâches administratives pour les entreprises, inverser la tendance démographique actuellement en baisse. Le concept se veut « évolutif, agile et sans tabou », selon Alessandro Arcieri (Le Temps, 5 novembre 2021).

En conclusion, il nous paraît important de relever ici le renouveau qui a suivi la crise des années 1970-1980. Ce nouvel élan s'est appuyé sur les compétences horlogères développées au fil du temps, qui ont permis de développer d'autres secteurs devenus phares telles l'industrie médicale et la microtechnique. Cette dernière s'est en effet implantée dans un terreau de choix au cœur d'une région toute dédiée à la précision et à l'infiniment petit. Un ouvrage collectif intitulé : *Microtechniques et mutations horlogères*, paru en 2000, sous la plume de Laurent Tissot, Thomas Perret, André Beyner, Pierre Debély et François Jeanneret, a, pour la première fois, retracé l'histoire de la recherche en microtechnique dans le canton de Neuchâtel et son inscription dans cette région berceau de l'horlogerie.

Le 5 novembre 2022, lors de son *Dies academicus*, l'Université de Neuchâtel a remis un doctorat honoris causa à Ruth Dreifuss. A cette occasion, celle qui fut la première femme à présider la Confédération s'est ainsi exprimée : « Il y a dans ce canton une résilience admirable, qui est la preuve de la force entrepreneuriale et ouvrière ». Ces mots forts résument particulièrement bien le mouvement de fonds que nous avons tenté de retracer ici dans une dimension historique.

La Chaux-de-Fonds et Le Locle sont les seules villes au monde que l'histoire de l'horlogerie a autant marquées. Elles ont été construites pour les horlogers et par les horlogers. Les murs de ces deux villes témoignent de l'histoire de la montre, depuis sa production artisanale jusqu'à sa multiplication dans les usines. La distinction au patrimoine mondial de l'UNESCO des deux villes couronne non seulement des aspects architecturaux et urbanistiques mais aussi un savoir-faire en mécanique horlogère et mécanique d'art de toute une région, développé pendant près de trois siècles. Cette reconnaissance touche non seulement une réalité à la fois technique mais aussi sociale, économique et culturelle.

A l'heure où des décisions doivent être prises pour construire l'avenir, l'une des clés que le passé semble ici nous livrer réside dans ce sentiment d'être partie prenante, dans cette mobilisation nécessaire, de toutes et tous, qui doit nécessairement accompagner les décisions et initiatives à venir.

4 Spécificités et cadre légal

Le cadre légal et réglementaire clarifie les directives, les normes et les procédures nécessaires pour assurer une implémentation réussie et harmonieuse de l'énergie solaire, tout en préservant la valeur universelle exceptionnelle du bien du patrimoine mondial. Il définit les droits et les responsabilités des différentes parties prenantes, tels que les propriétaires de bâtiments, les autorités locales et les organismes de réglementation, et permet de garantir la conformité des installations solaires aux normes établies.

4.1 La Chaux-de-Fonds, Le Locle : un urbanisme horloger inscrit au patrimoine mondial

Patrimoine mondial

La Convention du patrimoine mondial adoptée en 1972 est née de l'idée visionnaire de placer sous la protection de l'humanité tout entière les biens naturels et culturels ayant une valeur universelle exceptionnelle. En ratifiant la Convention du patrimoine mondial en 1975, la Suisse a pris l'engagement de protéger, d'entretenir et de sauvegarder les biens exceptionnels situés sur son territoire pour les générations futures.

Déclaration de valeur universelle exceptionnelle⁴

En 2009, le Comité du patrimoine mondial, instance décisionnelle de la Convention, a inscrit les sites de La Chaux-de-Fonds et du Locle sur la Liste du patrimoine mondial. Ce faisant, le Comité a reconnu la valeur universelle exceptionnelle de ce bien sériel, qu'il a défini ainsi :

« L'ensemble urbain horloger de La Chaux-de-Fonds et du Locle a une valeur universelle exceptionnelle étant donné que ces deux « villes-manufactures » jumelles apportent un exemple exceptionnel d'ensembles urbains organiques entièrement dédiés à une mono-industrie. Elles ont été construites par et pour l'horlogerie. Elles sont le produit d'une symbiose intime entre les besoins sociotechniques et les réponses apportées par les choix de l'urbanisme. L'horlogerie a façonné une typologie architecturale remarquable du bâti. Les immeubles d'habitation conçus pour le travail à domicile voisinent avec les maisons patronales, les ateliers et les usines plus récentes, au sein d'un tissu urbain homogène, rationnel et ouvert sur l'extérieur. Les deux villes témoignent de la poursuite ininterrompue exceptionnelle d'une tradition horlogère vivante et mondialement réputée, ayant su faire face aux crises sociotechniques et économiques du monde contemporain.

Critère (iv) : *La Chaux-de-Fonds et le Locle forment un exemple exceptionnel d'ensemble urbain et architectural, entièrement dédié à la production horlogère depuis le XVIIIe siècle jusqu'à aujourd'hui. Les lieux de fabrication horlogère et les lieux de vie cohabitent intimement. La planification raisonnée, pragmatique et ouverte de l'espace urbain a favorisé le développement durable de sa mono-industrie, à l'instar d'une « ville-manufacture ».*

Intégrité et authenticité

L'intégrité de la vocation horlogère des deux villes de La Chaux-de-Fonds et du Locle est complète, depuis plus de deux siècles, et elle est encore en activité. Elle est concrétisée par la permanence des plans viaires ordonnés et cumulatifs des deux villes, établis durant la première moitié du XIXe siècle, ainsi que par la continuité des motifs architectoniques de base du bâti, décliné suivant une typologie compréhensive, de la fin du XVIIIe siècle jusqu'à aujourd'hui. L'étude typologique et environnementale des constructions d'après 1930 fait ressortir quelques ruptures importantes (immeubles hauts) mais surtout des continuités fonctionnelles et architecturales (usines des années

⁴ Valeur universelle exceptionnelle : source <https://whc.unesco.org/fr/list/1302/>

1960, cités ouvrières) avec le bâti antérieur. Les indices chiffrés basés sur des données précises afin d'évaluer l'intégrité et l'authenticité d'un ensemble urbain sont utiles.

Éléments requis en matière de protection et de gestion

Le processus quotidien de gestion est assuré par les communes et leurs services d'urbanisme et du patrimoine. Le Comité directeur du dossier de proposition d'inscription s'est transformé en Comité permanent de coordination des sites en mars 2008. Il doit désigner un « gestionnaire de site » et mettre en place différents groupes de travail. Il est accompagné d'un Groupe pluridisciplinaire à vocation de conseil scientifique et professionnel. L'efficacité de la gestion urbaine déjà en place et devrait continuer. »

Attributs constitutifs du bien inscrit

Un bien du patrimoine mondial est constitué de différents attributs. Les attributs sont les aspects du bien qui portent la valeur universelle exceptionnelle, qui la traduisent et la transmettent. Les attributs peuvent être des éléments physiques, tels que la configuration d'une ville historique, la typologie architecturale, les types d'écosystème, etc. ou des processus immatériels tels que des traditions, des pratiques sacrées et/ou rituelles, etc. Ce sont les attributs qui confèrent au bien son degré d'authenticité. L'intégrité « est [quant à elle] une appréciation d'ensemble et du caractère intact du patrimoine naturel et/ou culturel et de ses attributs ». Elle est examinée sur la base de trois indicateurs :

- le bien doit posséder tous les éléments nécessaires pour exprimer sa valeur universelle exceptionnelle ;
- il doit être d'une taille suffisante pour représenter toutes les caractéristiques permettant de transmettre son importance ;
- il ne doit pas être dégradé par le développement et/ou le manque d'entretien.

Les attributs doivent faire l'objet d'une protection, d'une gestion et d'un suivi à même de garantir la préservation de la valeur universelle exceptionnelle du bien. Sur la base de l'ensemble des sources disponibles, les attributs qui soutiennent la valeur universelle exceptionnelle du site de La Chaux-de-Fonds et du Locle ont été répertoriés dans le tableau ci-dessous.

Catégories de valeurs	Attributs
Urbanistique	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Urbanisme dicté par les lois de l'hygiénisme et développé en bandes parallèles étroites à partir de l'axe principal bien orienté du fond de la vallée, suivant un plan d'alignement strict ▪ Urbanisme ouvert ayant favorisé l'extension de la ville (ni limite, ni fortification) ▪ Urbanisme régulièrement étagé sur les flancs de la vallée et orientation du bâti favorable à l'éclairage naturel ▪ Imbrication étroite et durable des activités manufacturières, de l'habitat et des équipements collectifs ▪ Organisation fréquente du tissu urbain en rythme ternaire (rue, jardin, l'immeuble) ▪ Orthogonalité et largeur du système viaire (favorable aux échanges matériels et à l'éclairage naturel)
Architecturale	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bâtiments et installations illustrant la typologie architecturale « horlogère » (ferme du Haut Jura adaptée à une production horlogère à domicile, maison urbaine horlogère, immeuble mixte, usine avec habitat du patron accolé ou séparé, caserne ouvrière)

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Typologie de construction sobre et fonctionnelle, selon un plan rectangulaire relativement étroit, orienté vers la lumière ▪ Surabondances d'ouvertures dans les constructions pour bénéficier au maximum de l'éclairage naturel ▪ Mixité fonctionnelle des lieux de production et d'habitation
Historique	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Substance historique de l'ensemble des bâtiments et installations qui témoignent de l'évolution de la production horlogère industrielle, de la proto-industrie jusqu'au 21^e s.

Sociale	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fermes du Haut Jura adaptées à une production horlogère à domicile ▪ Figure idéalisée du paysan-horloger dans les Montagnes neuchâteloises ▪ Forte identité ouvrière ▪ Fierté d'un savoir-faire horloger traditionnel mais aussi d'avant-garde
Paysagère	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Environnement naturel préservé entourant les 2 ensembles urbains

Zone tampon du bien inscrit

Un bien inscrit sur la Liste du patrimoine mondial est généralement entourée d'une zone tampon, permettant de renforcer la préservation de sa valeur universelle exceptionnelle. La zone tampon est ainsi définie par les instances du patrimoine mondial :

« Afin de protéger efficacement le bien proposé pour inscription, une zone tampon est une aire entourant le bien proposé pour inscription dont l'usage et l'aménagement sont soumis à des restrictions juridiques et/ou coutumières, afin d'assurer un surcroît de protection à ce bien. Cela doit inclure l'environnement immédiat du bien proposé pour inscription, les perspectives visuelles importantes et d'autres aires ou attributs ayant un rôle fonctionnel important en tant que soutien apporté au bien et à sa protection. L'espace constituant la zone tampon doit être déterminé au cas par cas par des mécanismes appropriés. Des détails concernant l'étendue, les caractéristiques et les usages autorisés de la zone tampon, ainsi qu'une carte indiquant ses délimitations exactes, doivent être fournis dans le dossier de proposition d'inscription »⁵.

En ce qui concerne les cas de La Chaux-de-Fonds et du Locle, malgré l'absence de frontières historiques clairement établies, une stratégie pragmatique basée sur l'uniformité de la structure urbaine, l'importance historique, le respect des lois et les vues panoramiques a aidé à définir cette zone tampon unique. En effet, étant donné la proximité des deux villes et l'unité qu'elles forment, les deux zones tampons ont été unifiées pour n'en créer qu'une seule, cohérente et significative.

⁵ Orientations devant guider la mise en œuvre de la *Convention du patrimoine mondial*, 10 juillet 2019.

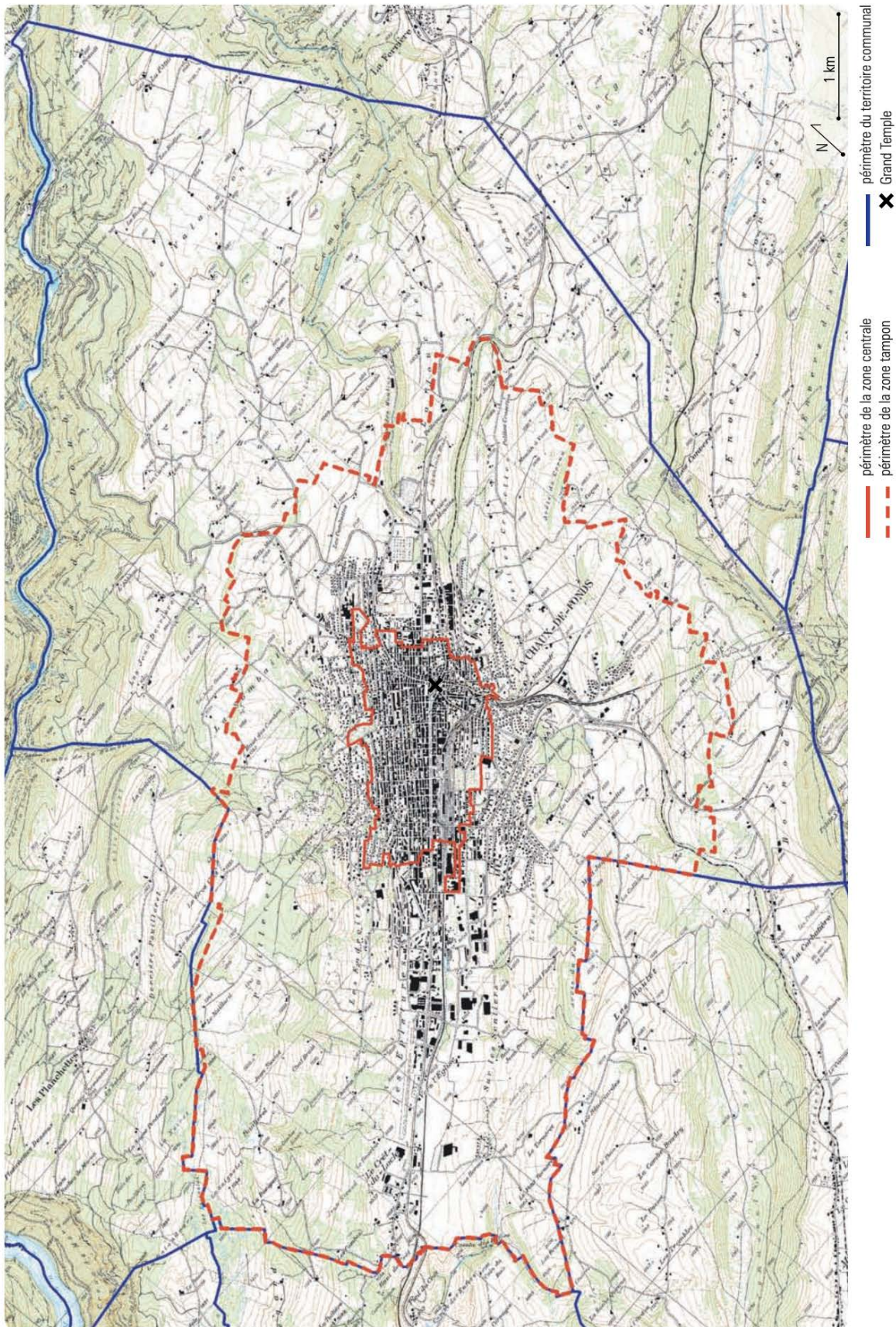


Figure 1 : Périmètre du bien du patrimoine mondial de La Chaux de Fonds (au centre) et de sa zone tampon (Source : https://whc.unesco.org/fr/list/1302/multiple=1&unique_number=1582)

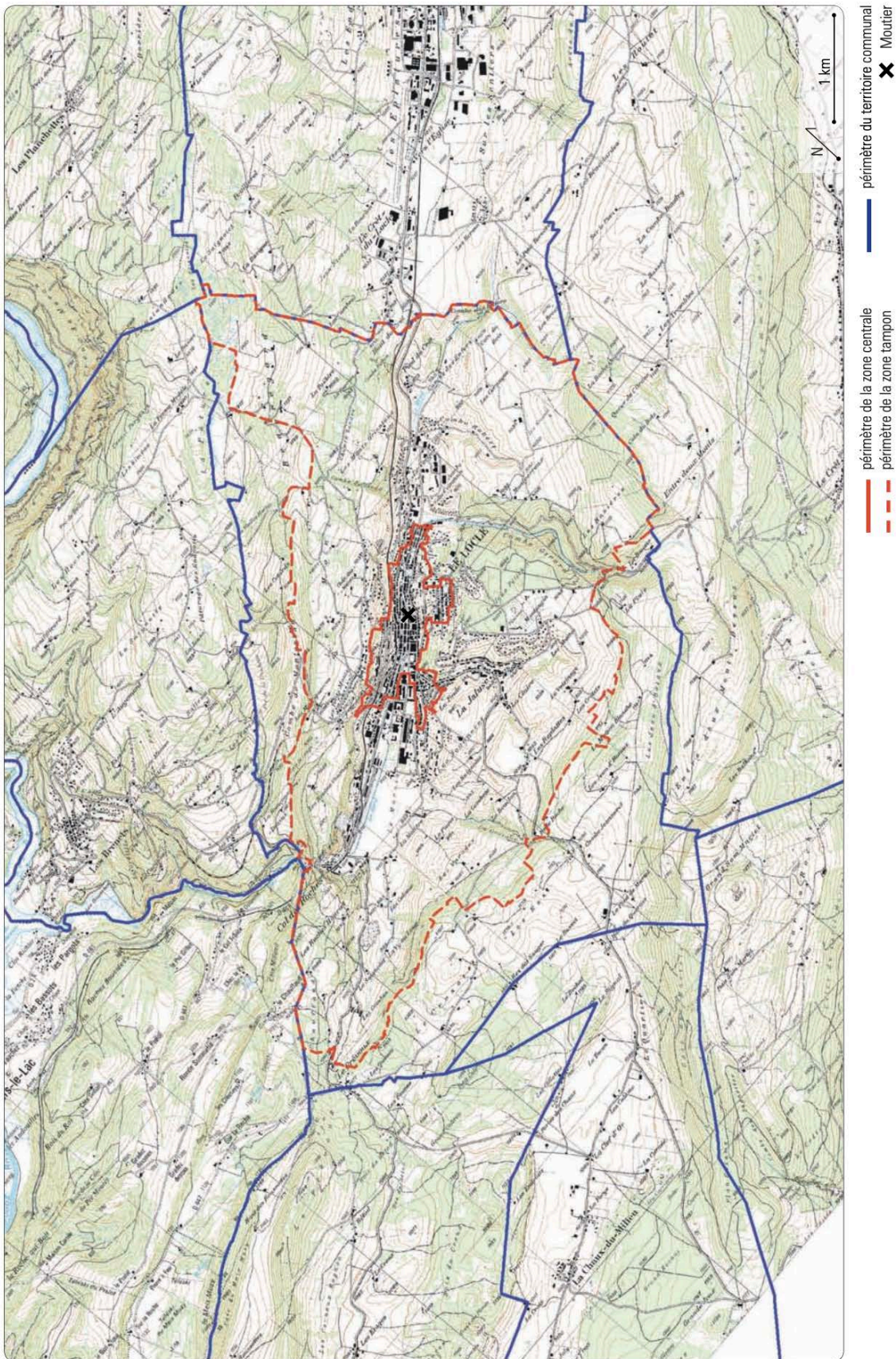


Figure 2 : Périmètre du bien du patrimoine mondial du Locle (au centre) et de sa zone tampon (Source : https://whc.unesco.org/fr/list/1302/multiple=1&unique_number=1582)

4.2 Cadre législatif et réglementaire

La Convention du patrimoine mondial n'est pas directement applicable dans les États signataires, elle s'appuie sur les systèmes législatifs des États concernés. Il s'agit en Suisse de la Loi fédérale sur la protection de la nature et du paysage (LPN) et des dispositions cantonales et communales en matière de protection de la nature et du patrimoine. Des lois et dispositions complémentaires, notamment dans le domaine de l'aménagement du territoire, contribuent à la mise en œuvre de la convention.

La loi fédérale sur l'aménagement du territoire LAT précise également le cadre réglementaire de la pose d'installations solaires, alors que la loi fédérale sur l'énergie établit les principes et objectifs de la politique énergétique du pays.

Législation fédérale

Loi sur la protection de la nature et du paysage (LPN ; RS 451) et son ordonnance (OPN ; RS 451.1)

La Loi sur la protection de la nature et du paysage (LPN) régit la préservation, la conservation et la gestion durable de la nature et du paysage (art. 1). C'est une loi fédérale adoptée au niveau national par le Parlement et qui s'applique à l'ensemble du pays. La LPN vise à protéger les paysages en prenant en compte les intérêts écologiques dans les activités humaines et permet au Conseil fédéral d'établir, après avoir pris l'avis des cantons, des inventaires d'objets d'importance nationale, dont fait partie l'inventaire fédéral des sites construits d'importance nationale à protéger en Suisse (ISOS) (art. 5 et 6).

L'ordonnance sur la protection de la nature et du paysage (OPN) complète la LPN en précisant les dispositions et les modalités d'application de cette dernière. Elle clarifie les procédures d'autorisation et de déclaration pour les activités susceptibles d'avoir un impact sur la nature et les paysages protégés. Elle établit les critères et les conditions pour la désignation des sites d'importance nationale, cantonale et locale, ainsi que pour la création et la gestion des réserves naturelles et des parcs nationaux.

Inventaire fédéral des sites construits d'importance nationale à protéger en Suisse (ISOS)

La protection des sites construits est assurée en Suisse par des dispositions légales en matière d'aménagement du territoire. Elle relève en premier lieu de la compétence des communes. Celles-ci définissent les zones à protéger et formulent des prescriptions pour leur aménagement. Dans la plupart des cas, c'est le service cantonal de la protection du patrimoine qui est l'interlocuteur pour les transformations ou les nouvelles constructions dans les sites construits à protéger.

Au niveau national, c'est l'Office fédéral de la culture (OFC) qui s'occupe de la protection des sites construits. Il établit et gère l'ISOS, l'Inventaire fédéral des sites construits d'importance nationale à protéger en Suisse. Cet inventaire évalue les sites construits selon des critères uniformes pour l'ensemble de la Suisse et détermine les agglomérations les plus précieuses du pays. Il représente une base de planification importante pour la Confédération, les cantons et les communes et assure un développement de qualité de l'environnement bâti. L'ISOS aide les autorités compétentes en matière de conservation du patrimoine, d'aménagement du territoire et de construction à identifier le bâti possédant une valeur patrimoniale et culturelle et à le sauvegarder à long terme.

L'ISOS ne répertorie pas des bâtiments isolés, mais des agglomérations dans leur globalité. Il dresse l'inventaire des sites construits les plus précieux et les plus importants du pays et les documente. L'ISOS présente une analyse complète de l'espace construit de différents types d'agglomération. Il

prend non seulement en considération les bâtiments, les rues, les places, les jardins et d'autres espaces verts, mais aussi les relations entre le bâti et son environnement. Il complète les inventaires de protection cantonaux et communaux et apporte une contribution essentielle à la sauvegarde de la culture du bâti en Suisse.

L'ISOS définit ce qui mérite d'être protégé. Il ne représente cependant ni une mesure de protection absolue ni une planification. Il constitue une base de décision. La Confédération l'utilise systématiquement dans l'accomplissement de ses tâches. Les cantons et les communes en tiennent compte dans leurs planifications.

Loi sur l'aménagement du territoire (LAT ; RS 700) et son ordonnance (OAT ; RS 700.1)

La Loi sur l'aménagement du territoire (LAT) établit le cadre législatif pour l'aménagement du territoire en Suisse, en incluant des principes généraux tels que la gestion économe du sol et la coordination des activités. Elle prévoit la mise en place de plans directeurs cantonaux et régionaux, qui établissent les grandes lignes de l'aménagement du territoire à l'échelle du canton ou de la région, ainsi que des plans d'affectation des zones, qui réglementent l'utilisation du sol à l'échelle communale. La LAT impose également des règles en matière de construction et de protection de l'environnement. Elle encourage notamment la densification urbaine et la rénovation de bâtiments existants, pour limiter l'étalement urbain et préserver les espaces naturels. Elle vise également à promouvoir les énergies renouvelables et la gestion durable des ressources naturelles.

Concernant plus spécifiquement la procédure pour la pose de panneaux solaires, la LAT définit ainsi :

– Art. 18a⁴⁵ Installations solaires

¹ Dans les zones à bâtir et les zones agricoles, les installations solaires suffisamment adaptées aux toits ne nécessitent pas d'autorisation selon l'art. 22, al. 1. De tels projets doivent être simplement annoncés à l'autorité compétente.

² Le droit cantonal peut:

- a. désigner des types déterminés de zones à bâtir où l'aspect esthétique est mineur, dans lesquels d'autres installations solaires peuvent aussi être dispensées d'autorisation;
- b. prévoir une obligation d'autorisation dans des types précisément définis de zones à protéger.

³ Les installations solaires sur des biens culturels ou dans des sites naturels d'importance cantonale ou nationale sont toujours soumises à une autorisation de construire. Elles ne doivent pas porter d'atteinte majeure à ces biens ou sites.

⁴ Pour le reste, l'intérêt à l'utilisation de l'énergie solaire sur des constructions existantes ou nouvelles l'emporte en principe sur les aspects esthétiques.

⁴⁵ Introduit par le ch. II de la LF du 22 juin 2007 (RO 2007 6095; FF 2006 6027). Nouvelle teneur selon le ch. I de la LF du 15 juin 2012, en vigueur depuis le 1^{er} mai 2014 (RO 2014 899; FF 2010 959).

L'Ordonnance sur l'aménagement du territoire (OAT) précise les modalités d'application de la LAT en matière d'affectation du sol, de développement territorial et de règles de construction en Suisse. Elle fixe les principes et les critères à respecter pour l'aménagement du territoire, et notamment les objectifs de préservation et d'utilisation judicieuse des ressources naturelles, la promotion de la qualité de vie et de l'environnement, ainsi que la coordination entre les différents acteurs impliqués. L'OAT est complété par des lois et des règlements cantonaux et communaux qui précisent les dispositions en fonction des spécificités locales.

Concernant plus spécifiquement la question des installations solaires, on y trouve les articles suivants :

–  **Art. 32a Installations solaires dispensées d'autorisation**

¹ Les installations solaires placées sur un toit sont considérées suffisamment adaptées (art. 18a, al. 1, LAT) si les conditions suivantes sont réunies:²⁰

- a. elles ne dépassent pas les pans du toit perpendiculairement de plus de 20 cm;
- b.²¹ elles ne dépassent pas du toit, vu du dessus;
- c. elles sont peu réfléchissantes selon l'état des connaissances techniques;
- d.²² elles forment un ensemble groupé; des exceptions pour raisons techniques ou une disposition décalée en raison de la surface disponible sont admissibles.

^{1bis} Sur un toit plat, elles sont aussi considérées suffisamment adaptées si, au lieu des conditions de l'al. 1, les conditions suivantes sont réunies:

- a. elles ne dépassent pas de l'arête supérieure du toit de plus de 1 m;
- b. elles sont placées suffisamment loin du bord du toit pour ne pas être visibles d'en bas avec un angle de vue de 45 degrés;
- c. elles sont peu réfléchissantes selon l'état actuel des connaissances techniques.²³

² Les dispositions concrètes fondées sur le droit cantonal traitant de l'intégration des dites installations s'appliquent lorsqu'elles visent de manière proportionnée la défense d'intérêts de protection justifiés et ne limitent pas l'exploitation de l'énergie solaire plus strictement que l'al. 1.

³ Les projets dispensés d'autorisation doivent être annoncés avant le début des travaux à l'autorité délivrant les autorisations de construire ou à une autre autorité déclarée compétente pour recevoir les annonces par la législation cantonale. La législation cantonale fixe le délai dans lequel l'annonce doit être faite et précise quels plans et autres documents doivent y être joints.

²⁰ Nouvelle teneur selon le ch. I de l'O du 3 juin 2022, en vigueur depuis le 1^{er} juil. 2022 (RO 2022 357).

²¹ Nouvelle teneur selon le ch. I de l'O du 3 juin 2022, en vigueur depuis le 1^{er} juil. 2022 (RO 2022 357).

²² Nouvelle teneur selon le ch. I de l'O du 3 juin 2022, en vigueur depuis le 1^{er} juil. 2022 (RO 2022 357).

²³ Introduit par le ch. I de l'O du 3 juin 2022, en vigueur depuis le 1^{er} juil. 2022 (RO 2022 357).

- **Art. 32b Installations solaires sur des biens culturels**

Sont considérés comme des biens culturels d'importance cantonale ou nationale (art. 18a, al. 3, LAT):

- a.²⁴ les biens culturels au sens de l'art. 1, let. a et b, de l'ordonnance du 29 octobre 2014 sur la protection des biens culturels en cas de conflit armé, de catastrophe ou de situation d'urgence²⁵;
- b. les périmètres, ensembles et éléments individuels figurant à l'Inventaire fédéral des sites construits d'importance nationale à protéger en Suisse et assortis d'un objectif de sauvegarde A²⁶;
- c. les biens culturels d'importance nationale ou régionale répertoriés dans un autre inventaire adopté par la Confédération sur la base de la loi fédérale du 1^{er} juillet 1966 sur la protection de la nature et du paysage (LPN)²⁷;
- d. les biens culturels d'importance nationale ou régionale auxquels des contributions fédérales au sens de l'art. 13 LPN ont été accordées;
- e. les constructions et installations entrant dans le champ d'application de l'art. 24d, al. 2, LAT ou de l'art. 39, al. 2, de la présente ordonnance en raison de la protection dont elles bénéficient;
- f. les objets qui, dans le plan directeur approuvé par la Confédération, sont désignés comme étant des biens culturels d'importance cantonale au sens de l'art. 18a, al. 3, LAT.

²⁴ Nouvelle teneur selon l'annexe ch. II 3 de l'O du 29 oct. 2014 sur la protection des biens culturels en cas de conflit armé, de catastrophe ou de situation d'urgence, en vigueur depuis le 1^{er} janvier 2015 (RO 2014 3555).

²⁵ RS 520.31

²⁶ La carte des objets peut être consultée gratuitement sur le site de l'organe de coordination de la géoinformation au niveau fédéral à l'adresse suivante: map.geo.admin.ch > Géocatalogue > Population et économie > Société, culture > Inventaire fédéral ISOS.

²⁷ RS 451

Le document de SuisseEnergie « *Guide relatif à la procédure d'annonce et d'autorisation pour les installations solaires* » (OFEN, SuisseEnergie, juin 2023)⁶ est une aide à l'exécution de la LAT et de l'OAT pour les installations photovoltaïques.

Loi sur l'énergie (LEne ; RS 730.0) et ses ordonnances (OEné ; RS 730.01 et OEnéR ; RS 730.03)

La Loi sur l'énergie (LEne) établit les principes et les objectifs de la politique énergétique du pays, notamment la promotion de l'utilisation rationnelle de l'énergie, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables. Adoptée en 1998 et révisée en 2017, elle établit les principes et les objectifs fondamentaux de la politique énergétique suisse, visant notamment à promouvoir l'utilisation rationnelle de l'énergie, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables. La LEne vise à garantir un approvisionnement énergétique sûr, économiquement viable et respectueux de l'environnement. Ses principaux objectifs comprennent la réduction de la dépendance aux énergies fossiles, la promotion de l'utilisation durable de l'énergie, la réduction des émissions de gaz à effet de serre et la protection de l'environnement.

L'Ordonnance sur l'énergie (OEné) précise les dispositions et les détails d'application de la LEne. Elle fournit des orientations pratiques aux autorités compétentes, aux entreprises et aux particuliers pour mettre en œuvre les objectifs et les mesures définis par la loi. Elle établit les procédures, les exigences techniques, les normes et les critères à respecter dans différents domaines liés à l'énergie. L'OEné est élaborée par le Conseil fédéral suisse et est régulièrement mise à jour pour tenir compte des évolutions technologiques, des objectifs politiques et des exigences légales en matière d'énergie.

⁶ <http://pubdb.bfe.admin.ch/fr/publication/download/10403>

L'Ordonnance sur l'encouragement de la production d'électricité issue d'énergies renouvelables (OEneR) règle quant à elle les dispositions générales relatives à l'encouragement de la production d'électricité issue d'énergies renouvelables, dont la rétribution unique et les contributions d'investissement. Elle définit entre autres les programmes fédéraux de subvention pour les installations photovoltaïques, tels que le système de rétribution de l'injection (SRI) et la rétribution unique (RU) (cf. également la directive Pronovo « Directive relative à l'OEneR – Photovoltaïque »⁷).

Législation cantonale

Loi cantonale sur la sauvegarde du patrimoine culturel (LSPC ; RSN 461.30) et son règlement (RLSPC ; RSN 416.301)

La Loi sur la sauvegarde du patrimoine culturel (LSPC) a pour but d'assurer la sauvegarde du patrimoine culturel cantonal, dont font partie les sites construits et leur environnement naturel direct lorsque ce dernier donne son intérêt au site, les immeubles bâtis, leurs parties intégrantes et leurs abords.

Le Règlement d'application de la loi sur la sauvegarde du patrimoine culturel (RLSPC) fixe les conditions d'application de la LSPC. Il définit plus précisément les champs d'application et détaille obligations, mesures et subventions relatifs aux biens culturels et à la sauvegarde du patrimoine.

Le chapitre 4 de la LSPC régit le **RACN, Recensement Architectural du Canton de Neuchâtel**. C'est un inventaire du patrimoine architectural du canton. Il a pour but de recenser et de documenter les bâtiments et ensembles bâtis ayant une valeur patrimoniale, historique ou esthétique. Le RACN est un outil important pour la préservation et la gestion du patrimoine bâti du canton. Dans le prolongement de l'Inventaire fédéral des sites construits à protéger en Suisse (ISOS, cf. ci-dessus), le RACN évalue les bâtiments d'intérêt en leur attribuant une note de 0 à 9, en prenant en compte divers critères tels que l'architecture remarquable, l'intégrité, l'authenticité, la valeur historique et culturelle, ainsi que leur contribution à l'identité architecturale de la région. Des experts en architecture et en patrimoine sont impliqués dans ce processus, réalisant des analyses approfondies, des recherches historiques et des évaluations sur le terrain. Les bâtiments de la catégorie RACN 1ère catégorie (note 0-3) sont considérés comme présentant une valeur patrimoniale exceptionnelle en raison de leur architecture, de leur histoire ou de leur contribution culturelle.

Complémentaire au RACN pour la préservation et la valorisation du patrimoine bâti du canton de Neuchâtel, **la protection cantonale** est quant à elle un statut juridique qui vise à protéger les bâtiments, ensembles bâtis ou sites présentant un intérêt patrimonial, historique, esthétique ou paysager. Les bâtiments ou sites ainsi protégés sont inscrits dans un inventaire cantonal, lequel recense les biens culturels dignes de protection.

Loi cantonale sur l'aménagement du territoire (LCAT ; RSN 701.0) et son règlement d'exécution (RELCAT ; RSN 701.02)

La Loi sur l'aménagement du territoire (LCAT) règle, conformément à la loi fédérale sur l'aménagement du territoire, les procédures d'élaboration, d'adoption et d'exécution des mesures cantonales et communales d'aménagement du territoire et leur application. Elle vise à assurer une utilisation mesurée du sol ainsi qu'un développement harmonieux et équilibré du canton et de ses régions.

Le Règlement d'exécution de la loi cantonale sur l'aménagement du territoire (RELCAT) précise la LCAT et les dispositions liées à l'aménagement du territoire. Le RELCAT fixe les notions et

⁷ <https://pronovo.ch/fr/services/formulare/#> → Documents → En général

méthodes de mesure, le contenu des plans d'affectation et autres éléments relatifs aux dispositions de la LCAT.

Loi cantonale sur l'aménagement les construction (LConstr. ; RSN 720.0) et son règlement d'exécution (RELConstr. ; RSN 720.01)

La Loi cantonale sur les construction (LConstr) a pour but d'assurer la qualité urbanistique et architecturale, la sécurité, la salubrité et l'accessibilité, ainsi que le contrôle des constructions. Elle règle la procédure du permis de construire et assure sa coordination avec les dispositions du droit fédéral et du droit cantonal touchant notamment à l'aménagement du territoire, à la protection de l'environnement, à la protection des eaux, aux forêts, à la protection de la nature et des animaux, au paysage et aux sites bâtis, à l'énergie, à la police sanitaire, à la protection des travailleurs et à la police du feu.

Le règlement d'exécution de la loi sur les constructions (RELConstr.) précise la LConstr. Et les dispositions liées aux constructions, notamment les procédures applicables. La Section 2 du Chapitre premier traite la question du caractère obligatoire du permis de construire, des dispenses et procédures simplifiées. L'art. 4d traite en particulier la dispense de permis de construire pour les installations solaires.

Loi cantonale sur l'énergie (LCEn ; RSN 740.1) et son règlement (RELCEn ; RSN 740.10)

La Loi cantonale sur l'énergie (LCEn) a pour objectif de promouvoir les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique, en visant la réduction de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre.

Le règlement d'exécution de la LCEn (RELCEn) détaille les mesures concrètes à mettre en place, telles que les incitations financières et les normes de construction.

La LCEn et son règlement d'exécution approuvés en 2021 dans le Canton de Neuchâtel, ont pour but de promouvoir une utilisation rationnelle et efficace de l'énergie, de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de favoriser le recours aux énergies renouvelables.

Les principaux objectifs de cette loi et de son règlement d'exécution sont les suivants :

- Encourager la production d'énergie renouvelable et la mise en place de mesures d'efficacité énergétique dans les bâtiments.
- Mettre en place des standards énergétiques pour les nouvelles constructions et les rénovations de bâtiments.
- Faciliter l'accès aux énergies renouvelables pour les citoyens, notamment en favorisant l'installation de panneaux solaires sur les toits.
- Encourager la mobilité durable et la réduction des émissions de CO2 liées aux transports.
- Mettre en place des incitations financières pour encourager les investissements dans les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique.

Selon la loi cantonale sur l'énergie (LCEn), les communes neuchâteloises ont l'obligation d'élaborer un plan communal de l'énergie (PCEn), document qui a comme principal objectif d'atteindre une société à 2000 watts d'ici 2040. Ce plan communal a été réalisé au Locle et est actuellement en cours d'étude à la Chaux-de-Fonds.

Réglementation communale

Plan et Règlement d'Aménagement Communaux (PRAC)

L'aménagement du territoire est réglementé par le Plan et Règlement d'Aménagement Communal (PRAC) qui contiennent les dispositions destinées à promouvoir un aménagement rationnel et harmonieux sur le territoire communal. Il est composé des Plans de zones, du règlement d'aménagement communal ainsi que des plans et règlements particuliers.

Plan de site et recensement architectural

Au niveau communal, sur la base d'un recensement architectural, le plan de site classe les bâtiments selon trois catégories. Les immeubles concernés par ce recensement sont répertoriés et notés en fonction de leurs qualités et caractéristiques architecturales. Ce plan est régi par la LSPC et son règlement (cf. ci-dessus sous « Législation cantonale »).

On distingue trois catégories de bâtiments :

A. Bâtiments remarquables (note 0 à 3) : bâtiments dont l'architecture est particulièrement représentative de l'époque où ils ont été construits (cf. Figure 3).

B. Bâtiments bien intégrés au site (note 4 à 6) : bâtiments qui s'intègrent harmonieusement à leur environnement, sans présenter de qualités architecturales particulières

C. Bâtiments perturbants l'image du site (note 7 à 9) : bâtiments qui ont été dénaturés par de fortes modifications ou dont les qualités architecturales sont médiocres.



Figure 3 : Hôtel de ville au Locle et le Grand Temple de la Chaux-de-Fonds ©Andreas Faessler, ©Christian Galley

5 Acceptabilité urbaine des installations solaires, descriptif et mise en œuvre selon la méthode LESO-QSV

Reconnues par le Comité du patrimoine mondial de l'UNESCO, les caractéristiques du Locle et de La Chaux-de-Fonds doivent être prises en compte dans le cadre de l'intégration d'infrastructures photovoltaïques. La disposition, la trame, le rythme et la matérialité des immeubles de ces villes représentent en effet de précieux témoins d'une époque et de savoir-faire clés, propres à leur développement économique, industriel, urbain et social si particulier. Cette reconnaissance de l'UNESCO va au-delà des aspects liés au patrimoine et à sa préservation, puisqu'elle participe aussi indirectement à l'attrait touristique et à l'identité spécifique de ces deux villes. Conserver et valoriser ce patrimoine permet donc aussi de soutenir tout un volet économique, notamment lié au tourisme, et de pérenniser l'image identitaire propre à ces régions. En même temps, il est essentiel de développer la production énergétique durable locale à grande échelle. Dans ce cadre complexe, il convient d'agir de manière réfléchie, selon une méthode inclusive constituant un trait d'union fort et fédérateur entre ces deux pôles qui, en apparence, semblent plutôt opposés.

Développée à l'EPFL par le Laboratoire d'Énergie Solaire, la méthode LESO QSV (Qualité-Site-Visibilité) vise à promouvoir l'utilisation de l'énergie solaire dans les bâtiments, tout en préservant la qualité des contextes urbains existants.

Elle aide à déterminer l'acceptabilité des systèmes solaires actifs projetés (photovoltaïques ou solaires thermiques), en fonction de leur qualité d'intégration et de leur emplacement spécifique. Basée sur une approche novatrice d'évaluation de la qualité d'intégration architecturale, la méthode tient compte des différents degrés de sensibilité des contextes urbains existants ainsi que de la visibilité des systèmes proposés.

Étant conçue pour s'adapter aux particularités politiques et énergétiques des différentes communes, elle incite et aide les autorités à fixer des exigences de qualité spécifiques en adéquation avec les priorités énergétiques et de sauvegarde du patrimoine déjà en place localement.

5.1 Bases théoriques

Le principe d'adéquation au contexte local

La méthode QSV vise à concilier l'intégration de nouveaux systèmes solaires dans les contextes urbains existants, avec la préservation de la qualité préexistante de ces environnements bâtis.

Dans ce but elle envisage une adaptation des exigences de qualité architecturale des nouvelles installations à la qualité de l'environnement urbain local, particulièrement lorsque ces installations seront visibles de l'espace public. Au lieu de fournir des règles rigides préétablies, elle vise à permettre à chaque commune d'établir ses propres exigences en fonction des spécificités du contexte local.

Concept de criticité

La méthode se fonde sur le concept de « criticité » des emplacements dans lesquels les systèmes solaires actifs pourraient être installés. La criticité des emplacements est déterminée par la sensibilité patrimoniale du contexte urbain dans lequel l'installation se situera et par sa visibilité depuis le domaine public.

Plus le contexte urbain est sensible et la visibilité haute (haute criticité), plus la qualité d'intégration demandée sera élevée. Inversement, moins le contexte urbain est sensible et la visibilité basse (basse criticité), moins les exigences d'intégration seront élevées.

En pratique, trois niveaux de sensibilité du contexte (haute, moyenne, basse) et trois niveaux de visibilité de l'installation (haute, moyenne, basse) sont définis.

Pour structurer le concept, une grille de criticité a été créée définissant neuf situations de criticité différentes (Figure 4).

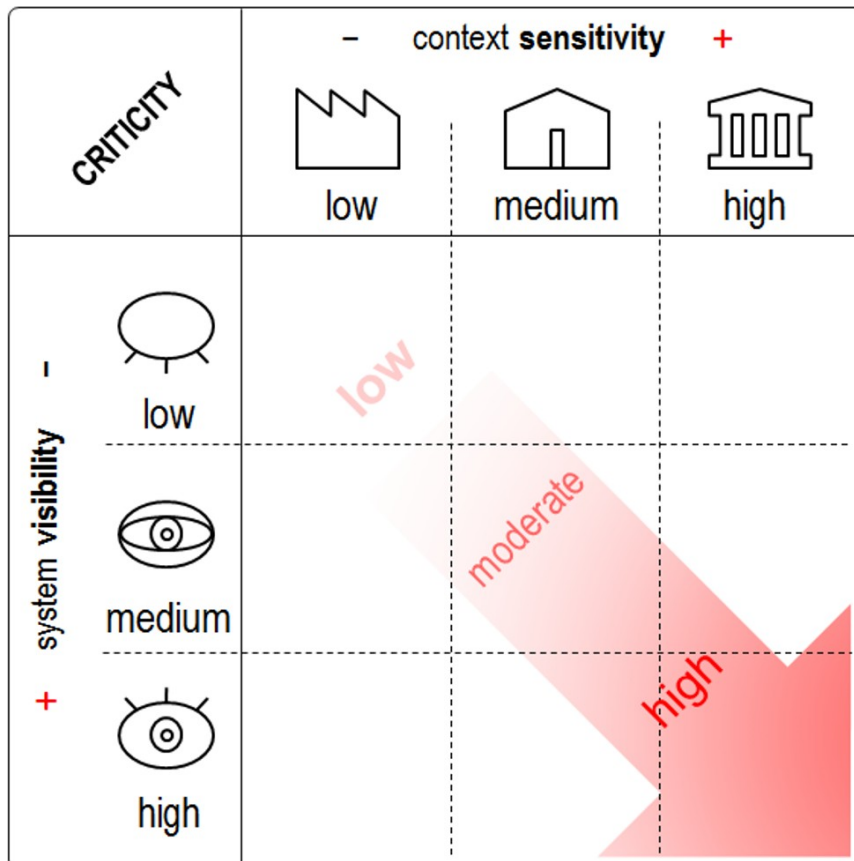


Figure 4 : Criticité architecturale en fonction de la visibilité du système et de la sensibilité du contexte urbain (Crédits EPFL/LESO-PB)

Pour chacune de ces neuf « situations », il s'agit d'établir le niveau de qualité d'intégration architecturale attendu des nouvelles installations en établissant des niveaux minima de qualité (grille d'acceptabilité).

Visibilité de l'installation

Pour déterminer la visibilité du système depuis l'espace public, tant la visibilité proche (déterminée par la forme de l'espace public devant le bâtiment) que la visibilité lointaine (déterminée principalement par la topographie du lieu) doivent être prises en compte (Figure 5 et Figure 6).

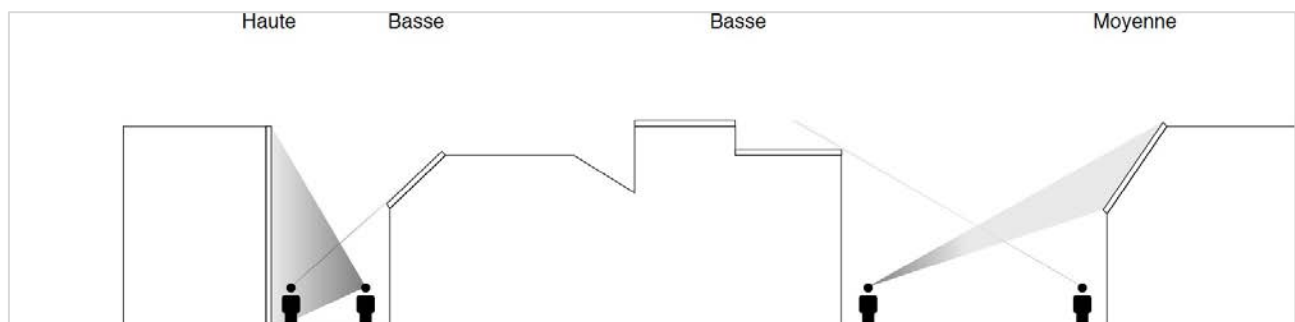


Figure 5 : Impact de la topographie du lieu sur la visibilité (Crédits EPFL/LESO-PB)

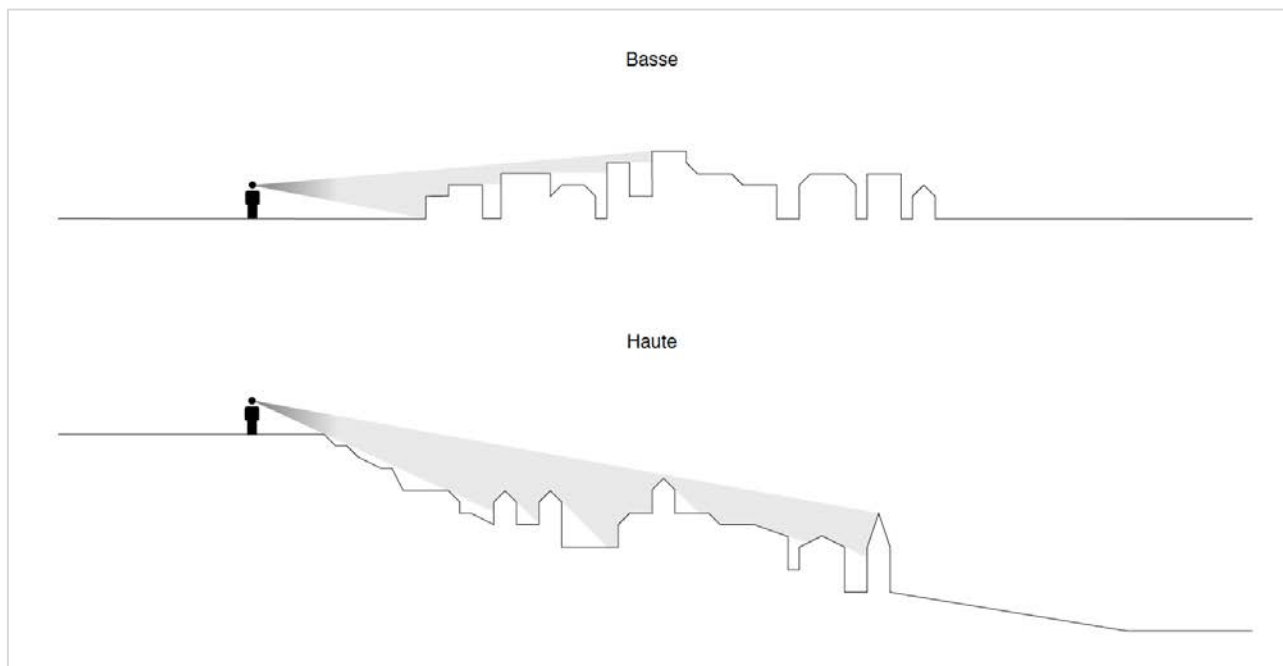


Figure 6 : Impact de la topographie du lieu sur la visibilité lointaine des installations (Crédits EPFL/LESO-PB)

En règle générale on utilisera la visibilité la plus haute, celle depuis le point de l'espace public le plus défavorable (i.e. amenant à la plus grande visibilité), comme référence pour la suite des analyses.

Sensibilité du contexte

La plupart du temps les zones des différents niveaux de sensibilité du contexte correspondent à des zones déjà identifiées sur le plan d'affectation de la commune et/ou sur les relevés de l'inventaire fédéral ISOS. Les centres historiques auront en principe une sensibilité haute, les zones résidentielles une sensibilité moyenne, les zones industrielles et commerciales une sensibilité généralement basse.

Sur cette base, la méthode structure les différentes zones d'un territoire donné selon les 3 niveaux de sensibilité haute, moyenne et basse. Bien entendu, la sensibilité ne doit pas forcément correspondre à la qualité actuelle du contexte, mais plutôt à celle que la commune envisage d'atteindre et demande pour son développement futur (dans le cas de la récupération d'une friche industrielle, par exemple).



Maria Cristina Munari Probst | EPFL LESO

Figure 7 : Différents degrés de sensibilité de contextes urbains (Crédits EPFL/LESO-PB)

La qualité architecturale de l'intégration

L'idée d'exiger un certain niveau de qualité d'intégration implique d'être capable d'évaluer cette qualité. Cette évaluation est souvent considérée comme subjective. Contrairement aux idées reçues, la considérant comme relevant des goûts personnels, celle-ci est défini par des critères objectifs implicites communs aux domaines de l'architecture et de l'urbanisme.

Pour qu'une installation solaire soit perçue comme intégrée, toutes ses caractéristiques formelles (visibles) devraient être cohérentes avec l'architecture du bâtiment. Ces caractéristiques sont les suivantes :

- Taille et position du champ de capteurs
- Taille et forme des modules
- Type de joints entre modules
- Matériaux visibles
- Couleur des capteurs
- Texture et réflectivité de surface des capteurs

Le fait de disposer de cette liste exhaustive des éléments-clés de l'intégration permet de procéder à une évaluation objective de sa qualité. C'est une telle démarche, décrite ci-après, que propose la méthode.

5.2 La Méthode

La méthode LESO-QSV s'articule en deux étapes, celle de l'évaluation de la qualité absolue et celle de la mise en place d'une grille d'acceptabilité articulée en fonction des différents niveaux de criticité, variables, du degré de sensibilité des contextes urbains existants ainsi que de la visibilité des systèmes proposés.

L'évaluation de la qualité de l'intégration

Certaines des caractéristiques mentionnées au paragraphe précédent déterminant la qualité d'intégration sont en réalité interdépendantes et liées entre elles par le choix d'une technologie ou d'un produit. La méthode propose ainsi de les regrouper en 3 caractéristiques globales, synthétiques, dont le degré de cohérence avec l'architecture du bâtiment sera évalué pour qualifier la qualité de l'intégration. Ces caractéristiques globales sont les suivantes :

1. **La géométrie du système** (forme et position de l'installation solaire)
Il s'agit ici de l'installation solaire complète, c'est-à-dire du champ de modules formant un ensemble.
2. **La matérialité des modules** (matériaux, couleur, texture et réflectivité des modules)
Il s'agit ici des modules individuels, c'est-à-dire du panneau solaire comme élément individuel.
3. **La trame modulaire du système** (taille et forme des modules, typologie et expression des joints).
Il s'agit ici de la taille et forme des modules individuels, mais également du système de montage, du câblage, de la ferblanterie, des joints, etc.

L'évaluation de leur cohérence avec l'architecture du bâtiment étant qualitative (tout en s'appuyant comme vu plus haut sur des bases objectives), ces résultats partiels ne peuvent s'exprimer en chiffres et ne peuvent pas être représentés par un score moyen. La méthode propose donc d'évaluer la cohérence de chacune de ces 3 caractéristiques avec l'architecture du reste du bâtiment, en utilisant une échelle à 3 niveaux, associés à 3 couleurs (Figure 8).

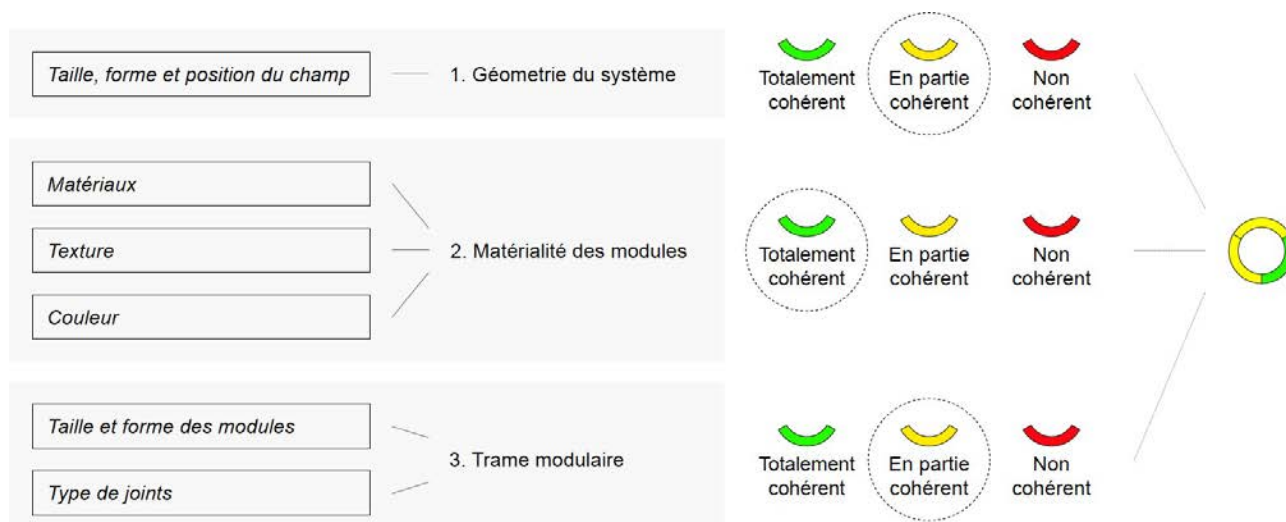


Figure 8 : Évaluation en trois étapes de la qualité architecturale (Crédits EPFL/LESO-PB)

Les trois évaluations partielles sont alors représentées par trois arcs de cercle colorés – en vert, jaune ou rouge suivant le degré de cohérence – qui en se combinant forment un cercle complet. La qualité globale du système est donc donnée par le nombre de secteurs de chaque couleur (Figure 9).



Figure 9 : Exemples de résultats d'évaluation (Crédits EPFL/LESO-PB)

L'outil informatique LESO-QSV GRID (Figure 10), propose plus de 150 cas d'études évalués pouvant être pris comme références d'analyse. Dans ces exemples, l'évaluation des trois critères est proposée aussi sur une échelle continue qui permet de nuancer et ensuite de mieux expliquer l'appréciation (Figure 11).

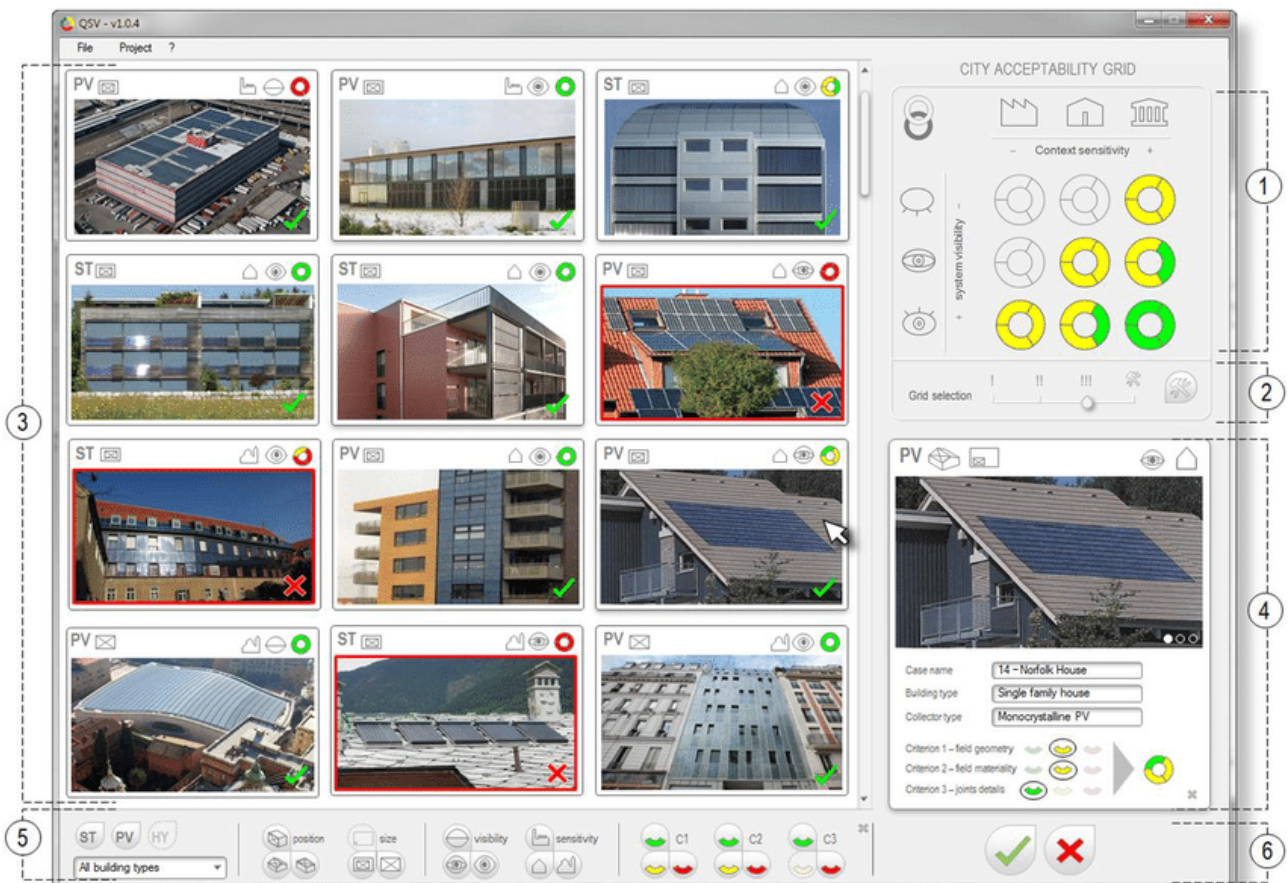


Figure 10 : Écran principal du logiciel LESO-QSV GRID



Figure 11 : Évaluation effectuée sur l'échelle continue utilisée dans les cas d'études (Crédits EPFL/LESO-PB)

La grille d'acceptabilité

Pour chacune des 9 cases de la grille de criticité, nous définissons le niveau de qualité minimal attendu dans ces situations. Ce niveau peut aller de « sans exigence » (acceptant même des qualités faibles, avec des évaluations comprenant des secteurs rouges), à « exigences maximales », correspondant à une qualité d'intégration optimale, avec trois secteurs verts. Afin de vérifier si une installation est acceptable, le résultat de son appréciation devra être supérieur ou égal à la qualité demandée dans la grille d'acceptabilité.

Le niveau de qualité requis pour chaque situation de criticité n'est pas absolu ni permanent, mais dépend de plusieurs facteurs temporels et locaux, comme le contexte énergétique, la disponibilité d'autres ressources renouvelables, « l'intégrabilité » des produits disponibles sur le marché et donc la facilité ou la difficulté relative de réaliser de bonnes intégrations. L'identité propre de la ville, l'importance de son image, son orientation politique, et sa structure économique entre autres, sont aussi des éléments-clé pouvant influencer ces exigences. Pour ces raisons, la méthode ne propose pas une grille absolue d'exigences de qualité mais est plutôt conçue comme un outil facilitant l'établissement d'une grille qualitative, plus ou moins sévère selon la réalité locale du moment. Elle doit donc évoluer avec le temps et être mise à jour périodiquement.

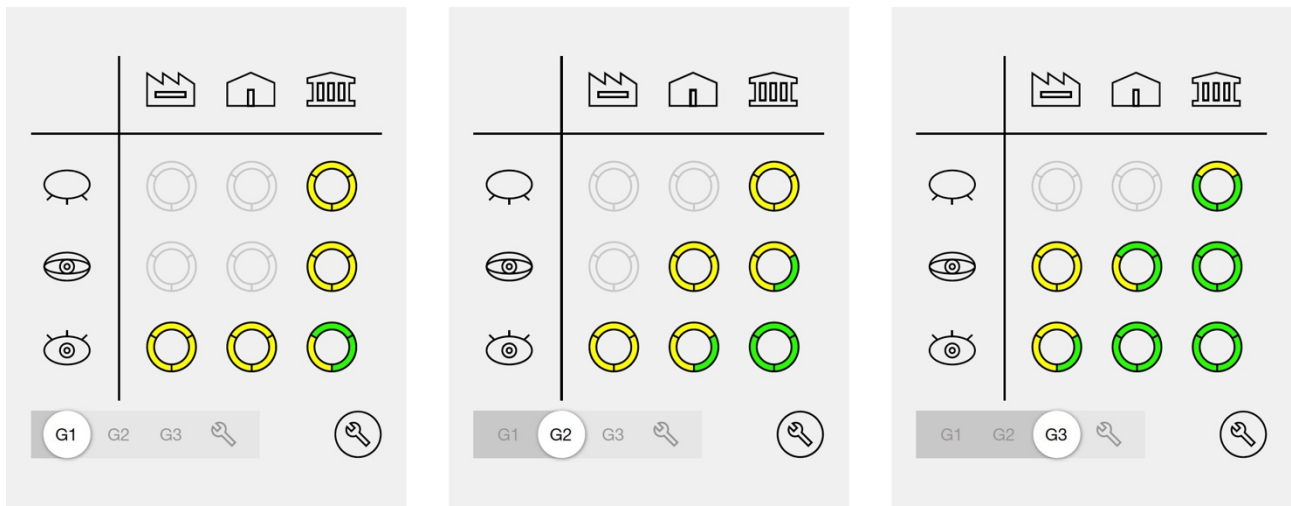


Figure 12 : Exemples de différents degrés de sévérité d'une grille d'acceptabilité (de gauche à droite : basse, moyenne, haute) pour un contexte donné (Crédits EPFL/LESO-PB)

6 Solutions technologiques

La technologie photovoltaïque est prête aujourd'hui à répondre à des demandes de plus en plus exigeantes en termes d'esthétique et de propriétés constructives. Les panneaux solaires peuvent être apposés sur la toiture ou la façade d'un bâtiment de deux manières principales. La première, dite BAPV (Building Applied Photovoltaics) consiste en la pose de modules sur un élément de l'enveloppe du bâtiment déjà existant. Cette approche est celle utilisée la plupart du temps pour les toitures existantes et en bon état. Sa mise en œuvre est simple et économiquement intéressante. Elle peut être faite de manière plus ou moins réussie d'un point de vue esthétique.



Figure 13 : Exemple d'une installation BAPV à Milvignes dans le Canton de Neuchâtel (source : Eligreen, Bevaix)

La deuxième solution, dite BIPV (Building Integrated Photovoltaics) considère le panneau solaire comme un élément intégral du bâtiment. Les modules sont à la fois producteurs d'électricité et jouent un rôle fonctionnel dans l'enveloppe du bâtiment. Cette approche définit le photovoltaïque comme un composant architectural pertinent, comme un producteur d'énergie actif et comme un élément de construction de l'enveloppe du bâtiment. Elle peut selon les cas conférer une valeur esthétique à l'ensemble du bâtiment. Cette approche concerne les nouvelles constructions, ainsi que le segment économiquement important de la rénovation. Outre la récolte d'énergie, les modules photovoltaïques bien intégrés peuvent contribuer au confort des occupants : ils servent de protection contre les intempéries, d'isolation thermique, gestion de l'ombrage ou protection contre le bruit.

Dans le bâtiment, les modules PV peuvent être classés en 3 catégories principales (Figure 14) :

- 1 Toiture
- 2 Façade
- 3 Accessoire tel qu'un brise soleil



Figure 14 : Exemples d'installation BIPV en toiture, en façade et comme système d'ombrage/brise-soleil.

6.1 Normes et contraintes structurelles

En tant qu'élément de l'enveloppe du bâtiment, le module BIPV doit répondre à des exigences constructives et fonctionnelles auxquelles un module photovoltaïque standard n'a pas besoin de répondre. Un module BIPV doit satisfaire à la fois les normes de qualité électriques des modules photovoltaïques telles que IEC (International Electrotechnical Commission), CENELEC (European Commission for Electrotechnical Standardization), CES (Comité Electronique Suisse) ainsi que constructives telles que ISO (International Organization for Standardization), CEN (European Committee for Standardization) et SIA (Schweizerische Ingenieur- und Architekten-Verein).

En particulier, les modules intégrés aux bâtiments doivent satisfaire les normes liées aux modules photovoltaïques IEC 61215 et IEC 61730 et celles liées aux éléments de constructions EN 14449 (verres feuilletés) et EN 1279-5 (vitrages). Afin d'harmoniser ces normes, le CENELEC a publié en 2016 la norme 50583 : « photovoltaïque dans le bâtiment » qui regroupe l'ensemble des points critiques des normes citées ci-dessus.

En tant que matériaux de construction, et spécialement dans le cadre d'une installation dans les villes du Locle et de La Chaux-de-Fonds, il est important que les modules soient conçus de telle sorte que les charges et notamment celles du vent et de la neige n'entraînent aucun risque d'effondrement ou de déformation de la toiture comme défini par les normes EN. Pour cela, il est impératif que les verres utilisés soient d'épaisseurs suffisantes (2 x 4 mm si les modules sont non-cadrés) et traités thermiquement (trempage) pour assurer leur résistance. Les paramètres d'épaisseur des verres et de leur résistance aux charges sont considérés en fonction de la taille des panneaux et de leur système d'installation (cadres, crochet, pinces).

Les modules BIPV doivent également être conformes aux normes de classement au feu des produits de construction et des éléments de construction EN 13501-1 et EN 13501-1 et ainsi assurer la sécurité des occupants et des équipes de secours tout en limitant la vitesse de propagation du feu aux constructions voisines.

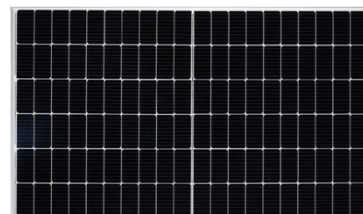
6.2 Les différents types de panneaux photovoltaïques

Il existe sur le marché différents types de panneaux solaires qui pourront être choisis en fonction de la sensibilité du lieu. Tous les panneaux solaires présentés ici sont basés sur la même technologie de cellule solaire en silicium cristallin, technologie la plus répandue sur le marché et actuellement la plus performante d'un point de vue de son efficacité et de son coût. Les développements technologiques sont en continuel développement et optimisation, les laboratoires de recherche travaillent sur des technologies solaires qui montrent un potentiel d'efficacité plus élevé (heterojunction, perovskite), mais ces technologies ne sont pas encore prêtes à être mises sur le marché et ne le seront pas dans ces prochaines années. Il ne sert à rien d'attendre pour implémenter les technologies actuelles, elles sont déjà suffisamment compétitives pour atteindre nos objectifs actuels, mais il est intéressant de toujours garder en vue les nouveaux développements qui sont réalisés.

Remarque : les photographies présentées ci-dessous sont utilisées à titre illustratif et ne représentent aucunement des recommandations.

Module standard – référence [PV-Standard]

Le module en c-si produit en masse est d'un format standardisé d'environ 1.7 à 2 m². Sa manufacture a été optimisée afin d'obtenir un coût / watt au plus bas. Ces panneaux sont essentiellement produits en Chine. Cadrés ou non, ils sont destinés à la production de masse dans les champs solaires mais également sur les toitures plates. Ce type de panneaux, de couleur noire, affichent clairement leur aspect « technologique » et leur esthétique n'a pas été pensée en tant qu'élément architectural.



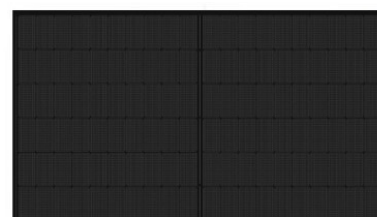
Production	Asie
Avantages	Haute efficacité, coût bas
Inconvénients	Pas de valeur esthétique, pas conçu comme un élément de construction, pas de flexibilité dans le format.



Figure 15 : Exemples d'installations solaires typiques en toitures plates

Module standard noir Full black – référence [PV-Standard-FullB]

Il s'agit d'un module standard (production de masse) d'environ 1.7 à 2 m² dont la feuille arrière (backsheet) arrière est noire ainsi que les connecteurs (busbars) qui ont été colorés en noirs afin d'optimiser l'uniformité de sa couleur. Ce type de modules peut être utilisé dans le cas d'une installation en apposé sur une toiture mais également en intégré. Leur couleur unie apporte une esthétique plus homogène que son homologue standard avec backsheet blanche mais son format n'apporte pas réellement de valeur esthétique.



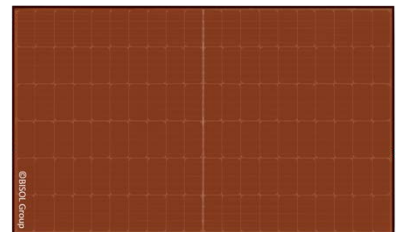
Production	Asie et Europe
Avantages	Haute efficacité, coût bas, esthétique améliorée par sa couleur noire uniforme. Cadré, il permettra une intégration en toiture (BIPV).
Inconvénients	Pas de flexibilité dans le format, pas conçu comme un élément de construction.



Figure 16 : Exemples d'installations solaires de modules noirs apposés sur toitures inclinées

Module standard coloré – référence [PV-Standard-Coloré]

Ce module de format standardisé d'environ 1.7 à 2 m² est produit essentiellement en Europe et est dédié à des installations en toiture. De même que son homologue noir il peut être apposé. Sa couleur terra-cotta ou brune permettra des installations sur des toitures dont la couleur a une importance et doit être conservée mais son format ne permet pas, en général, de respecter la trame modulaire d'une toiture traditionnelle.



Production

Europe

Avantages

Optimisé d'un point de vue du coût par son format standard qui peut être produit dans les lignes de production classiques, esthétique améliorée par sa couleur terra-cotta ou brune rappelant la couleur de la tuile traditionnelle. Cadré, il permettra une intégration en toiture (BIPV).

Inconvénients

Pas de flexibilité dans le format. Efficacité plus basse due à la couleur. Prix plus élevé.



Figure 17 : Exemple d'installation solaires avec modules colorés de format standard permettant une meilleure intégration visuelle dans la toiture existante ou une limitation de l'impact visuel en version apposée (Source : Luigi Pozzoli, Bisol spectrum)

Module full black de format adapté ou sur mesure – référence [PV-SMesure-FullB]

Ce module de couleur noire de format variable est fabriqué spécifiquement pour l'intégration en toiture. Cadré ou non, il pourra remplacer la tuile dans sa fonction de couverture selon divers types de systèmes d'installation. La flexibilité de son format permet une réelle intégration architecturale et des éléments de même matérialité mais non actifs (« dummies ») pourront être également utilisés pour assurer une couverture complète de toiture.



Production Europe et Asie

Avantages Haute efficacité, esthétique améliorée par sa couleur noire uniforme, son format de petite taille et son cadre qui permet une intégration dans la toiture avec un effet de superposition. Permet l'intégration en toiture (BIPV) et des couvertures complètes.

Inconvénients Coût plus élevé que le module de taille standard.



Figure 18 : Exemples d'installations solaires intégrées en toiture avec des modules noirs de formats standards (source : Eternit, Ernst Schweizer AG)

Module coloré de formats adaptés ou sur mesures – référence [PV-SMesure-Coloré]

De plus en plus de fabricants en Suisse et en Europe se sont spécialisés dans la fabrication de modules colorés destinés à l'intégration aux bâtiments. Les formats, tailles et couleurs peuvent être choisis en fonction de critères architecturaux et esthétiques du projet tout en cherchant, la plupart du temps, le meilleur compromis entre esthétique, coût et performance. Ces modules que l'on nomme volontiers « tuiles solaires » quand il s'agit de toiture ou plus généralement éléments actifs, s'apparentent plus à un matériel de construction qu'un simple panneau solaire. Ils sont ainsi multifonctionnels.



Production Europe et Asie

Avantages Esthétique améliorée par sa couleur (terra-cotta, brune) et les différents formats proposés permettant une trame modulaire intéressante et une couverture totale de la toiture (complétée par des éléments fictifs de même esthétiques si nécessaires).

Inconvénients Prix plus élevé, rendement plus bas dû à la couleur.



Figure 19 : Exemple d'installation solaire intégrée avec modules colorés de format adapté à la trame de la toiture original (source : Solaxess, LMNT).

Tuiles solaires de petits formats (mimétisme) – référence [PV-Tuiles]

Conçues en Suisse et façonnées une à une, en garantissant les plus hauts standards de l'industrie, ces tuiles de petits formats et mimant la tuile traditionnelle ont été conçues pour les bâtiments ayant de fortes contraintes architecturales. Ces tuiles s'adaptent à tous les types de toits, avec des variations de forme, de couleur et de taille et permettent des couvertures à 100% des toitures.



Production Europe

Avantages : Esthétique améliorée par sa couleur et le format proche de celui de la tuile traditionnelle. Peut être produit dans différentes tonalités de brun et terra-cotta, de noir et d'antracite.

Inconvénients : Prix plus élevé, rendement plus bas dû à la couleur. Mimétisme.



Figure 20 : Exemples d'installations solaires intégrées de modules colorés de format adapté à la trame de la toiture original (source : freesuns).

7 Mise en œuvre de la Méthode dans les contextes particuliers du Locle et de La Chaux-de-Fonds

7.1 Identification des zones de sensibilité

L'installation de panneaux solaires doit se faire en tenant compte des spécificités des différents contextes, ainsi que de leur potentiel solaire. La qualité des installations doit être adaptée à la criticité de la situation dans laquelle elle est planifiée et ne pas contribuer à affaiblir la qualité urbaine préexistante. Ainsi, plus la qualité architecturale d'un bâtiment ou d'un ensemble bâti est élevée, plus la qualité d'intégration des panneaux doit être soignée.

Les tissus bâtis des villes du Locle et de la Chaux-de-Fonds sont, comme nous l'avons vu dans le regard historique, l'expression d'un projet d'ensemble qui s'est constitué au travers de leur histoire respectives. Leurs périmètres n'ont jamais eu de limites clairement définies en raison de l'absence de fortifications et d'une topographie non contraignante. Ces villes ont été conçues de manière rationnelle et économique, sans jamais être considérées comme des villes « finies ». Malgré cette absence de limites précises, des zones homogènes se dégagent, marquant le paysage urbain de leur morphologie particulière.

La première étape a donc consisté à identifier dans le territoire communal des deux villes les zones correspondantes aux trois niveaux de sensibilité, haute, moyenne et basse, de la manière la plus cohérente possible.

Zone de sensibilité basse

Objectif : maximiser la production solaire (quantité et rentabilité)

La zone de sensibilité basse comprend les zones industrielles et zones commerciales dotées principalement de toitures plates ou de hangars industriels permettant l'installation de centrales solaires destinées à une haute production et une rentabilité élevée. Ces zones doivent être prioritaires dans la stratégie d'implémentation du photovoltaïque. De visibilité basse, moyenne ou haute, elles n'amènent pas de contrainte d'intégration spécifiques car la qualité architecturale préexistante est généralement faible. Il convient toutefois de ne pas péjorer la situation existante. C'est en particulier dans cette zone et sur ce type de bien que les modèles de type « coopérative solaire » sont intéressants (voir chapitre 10 « variante 6 : coopérative solaire »).

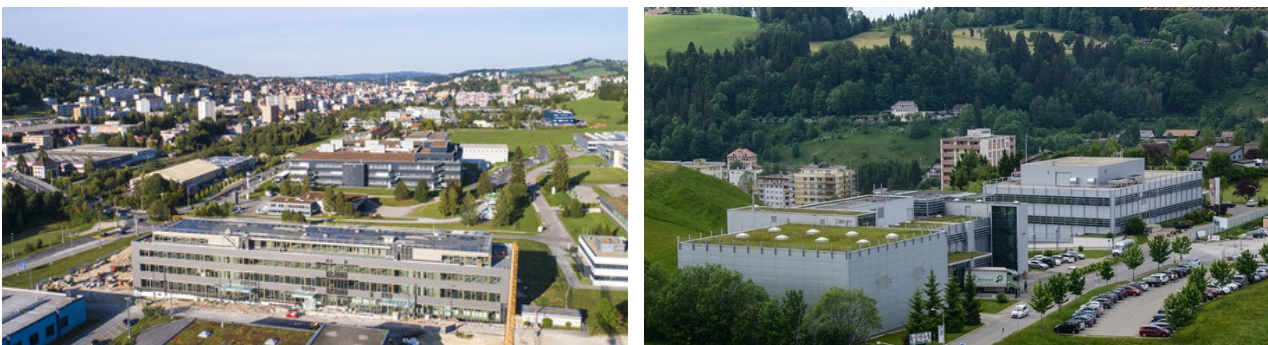


Figure 21 : Zones industrielles à La Chaux-de-Fonds et au Locle © DR, © Christian Galley

Zone de sensibilité moyenne

Objectif : Permettre la production solaire par des installations raisonnablement adaptées, en limitant l'atteinte aux qualités patrimoniales et architecturales des bâtiments et du site construit.

La zone de sensibilité moyenne comprend les zones résidentielles de villas, d'immeubles et les bâtiments industriels de qualité types horlogers. Des exigences d'intégration visent à assurer que la qualité urbaine ne soit pas affaiblie par l'apposition systématique de systèmes solaires complètement déliés de l'architecture des bâtiments.



Figure 22 : Zones typiques de villas de sensibilités moyennes dans les villes de la Chaux-de-Fonds (gauche) et du Locle (droite) © GoogleEarth

Zone de sensibilité haute

Objectif : Les questions patrimoniales étant prépondérantes dans cette zone d'exception, il conviendrait d'y éviter l'installation de panneaux solaires, afin d'en préserver les qualités reconnues tant internationalement que nationalement. Les investissements délocalisés, notamment au sein de coopératives solaires, doivent notamment y être encouragés. Seules des installations parfaitement intégrées et cohérentes en regard du contexte urbain large et des caractéristiques patrimoniales pourraient y être autorisées. Les installations ne doivent ainsi pas porter atteintes aux attributs identifiés, lesquels portent la valeur universelle exceptionnelle du site (cf. chapitre 4.1), et ne pas perturber la lisibilité de la typologie urbanistique en « bandes parallèles étroites » ainsi que la lecture architecturale globale de cette zone à valeur exceptionnelle. En ce sens, il est nécessaire de traiter avec homogénéité les installations au niveau des îlots de bâtiments et pas uniquement de considérer une partie d'îlot de manière décontextualisée.

La zone de sensibilité haute comporte les périmètres inscrits au patrimoine mondial de l'UNESCO et à l'inventaire fédéral ISOS ayant un objectif de sauvegarde "A". Cette zone a été identifiée sur la base d'une évaluation approfondie des valeurs exceptionnelles qui caractérisent ces sites. Sa définition prend en compte les éléments architecturaux, urbains et paysagers qui témoignent de la planification et de la réalisation de l'urbanisme horloger. La planification minutieuse des espaces résidentiels, industriels et publics, ainsi que l'harmonie entre l'architecture et l'environnement naturel, sont des caractéristiques clés qui ont valu à ces sites leur reconnaissance nationale et internationale. La zone de sensibilité haute englobe donc les éléments patrimoniaux essentiels de ces villes, mettant en valeur leur identité unique et leur contribution significative à l'histoire et à la culture horlogère ainsi que leurs vues emblématiques. Les propriétaires de biens se trouvant dans cette zone doivent être encouragés à investir de manière « délocalisée » notamment au sein de coopératives solaires.



Figure 23 : Zones typiques de sensibilité haute des villes de La Chaux-de-Fonds (gauche, © Yoan Vuillemez) et du Locle (droite, © rts.ch)

Vue emblématique

Une vue emblématique dans le contexte d'un site inscrit au patrimoine mondial de l'UNESCO fait référence à une perspective, un point de vue ou un panorama caractéristique et significatif de la valeur universelle exceptionnelle du site. Ces vues représentent une image distinctive, symbolique et mémorable de l'ensemble du site ou d'une partie de celui-ci, et sont considérées comme faisant partie intégrante de l'expérience de visite de ce site. Elles peuvent inclure des vues sur des bâtiments, des monuments, des rues, des places, des paysages naturels ou urbains, ainsi que des perspectives depuis des points d'observation clés. Les vues emblématiques sont souvent associées à des émotions, des souvenirs et des identités culturelles, et peuvent avoir une grande importance pour les habitants et les visiteurs du site.

Répertoriées dans le résumé analytique publié lors de la candidature au patrimoine mondial « La Chaux-de-Fonds / Le Locle, Urbanisme horloger », ces vues emblématiques mettent en évidence les caractéristiques architecturales remarquables, les perspectives urbaines uniques, les paysages naturels préservés et d'autres éléments qui contribuent à la valeur exceptionnelle de ces villes. Elles doivent être prises en compte dans les décisions d'implémentation solaire de manière qu'elles respectent et préservent l'intégrité visuelle et architecturale de ces sites.

Cartes des zones de sensibilité

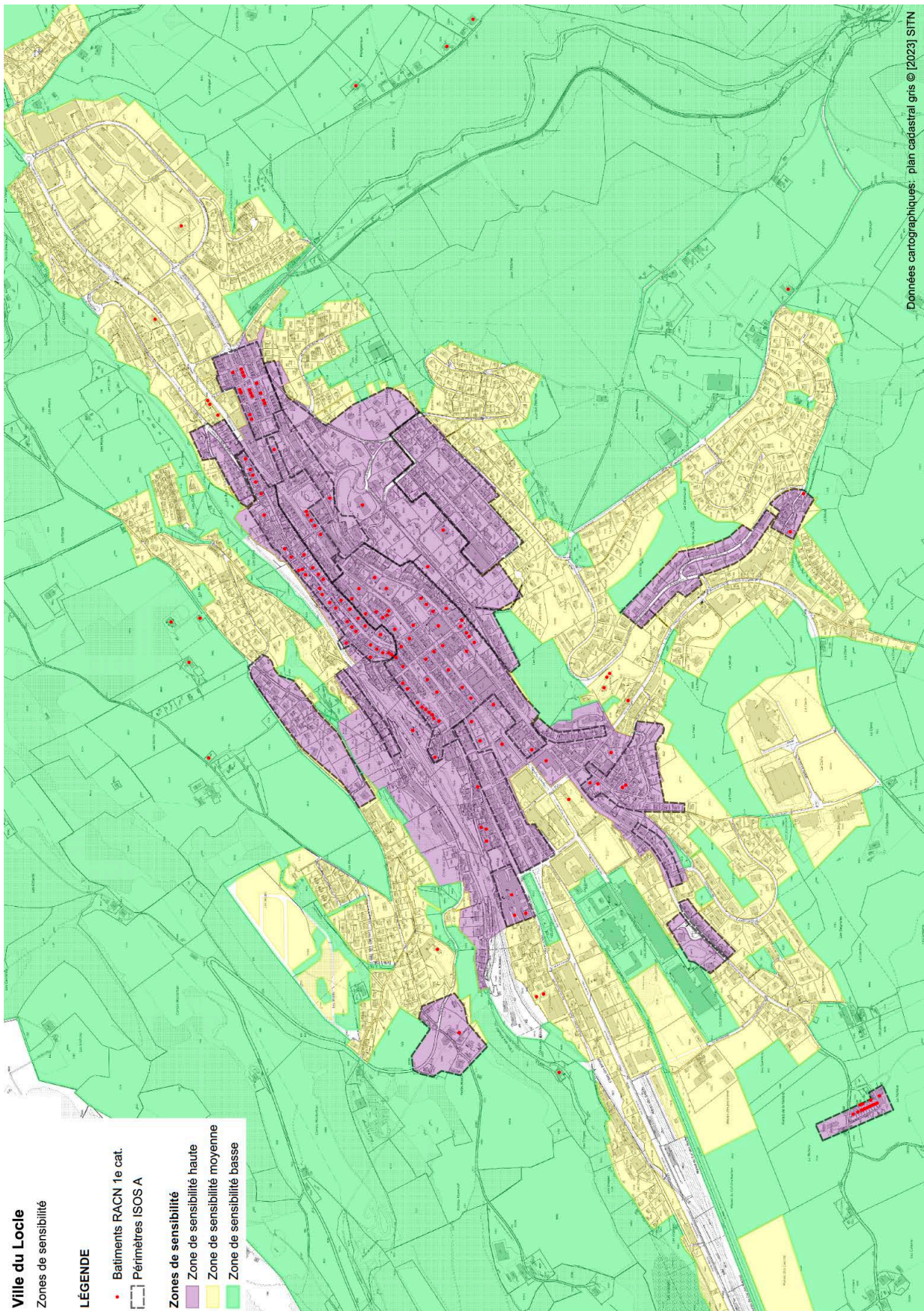


Figure 24 : Zones de sensibilités et périmètres ISOS A, Ville du Locle

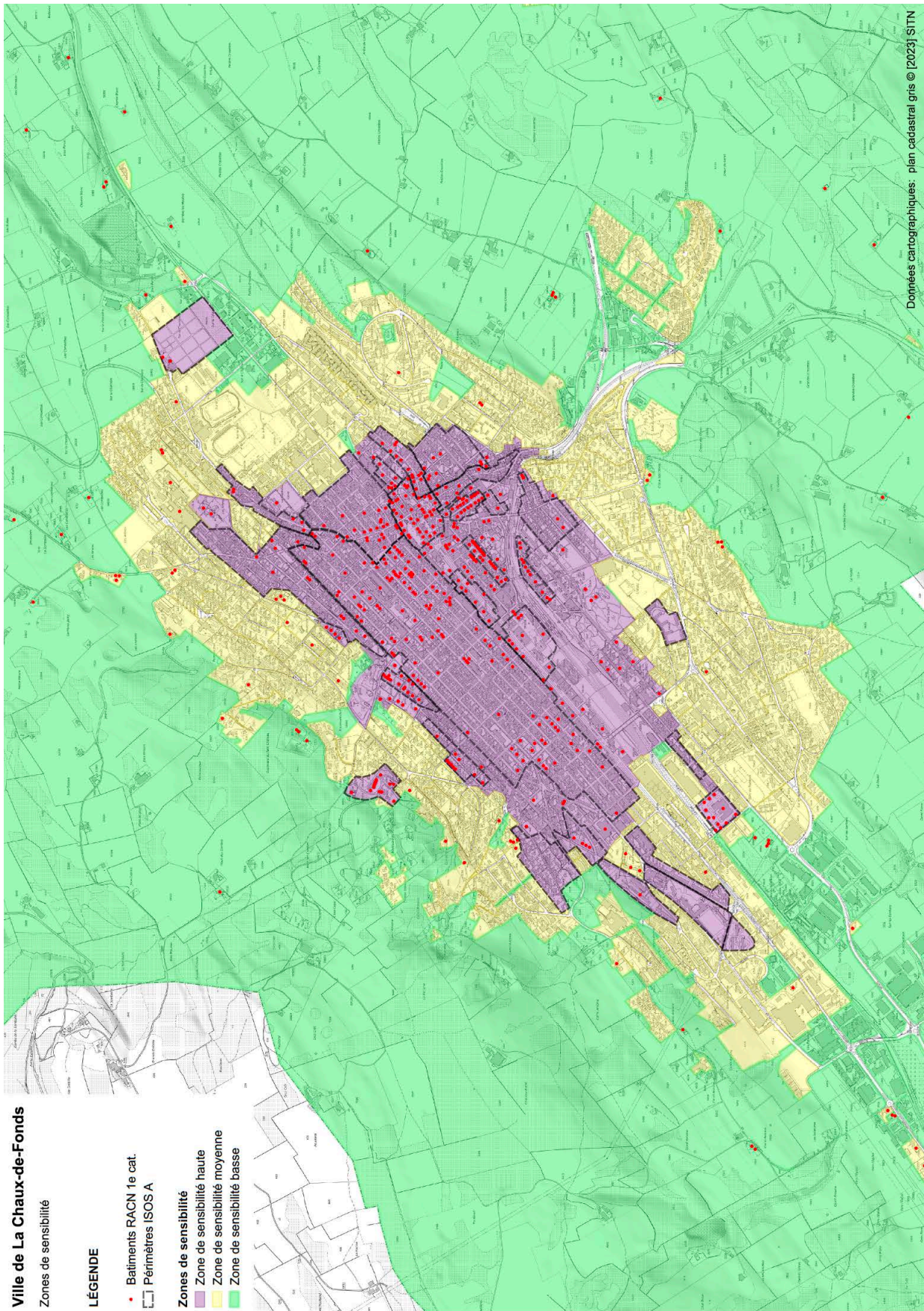


Figure 25 : Zones de sensibilités et périmètres ISOS A, Ville de La Chaux-de-Fonds

7.2 Visibilité

Comme vu plus haut au chapitre 5, la visibilité globale d'une installation solaire est déterminée tant par sa visibilité lointaine que par sa visibilité proche.

Visibilité lointaine

Les villes du Locle et de La Chaux-de-Fonds ont des situations topographiques différentes, débouchant sur des enjeux de visibilité lointaine spécifiques.

Si pour Le Locle les vues lointaines significatives sont ponctuelles, celles-ci sont déterminantes pour la Chaux-de-Fonds, dont la presque totalité des toitures sont visibles des reliefs environnants.

Un exemple significatif est la partie de la ville en damier de La Chaux-de-Fonds qui s'est constituée du XIXe jusqu'au début du XXe siècle et qui fait pleinement partie de l'identité de la ville. Cette vue emblématique et hors du commun de la ville cristallise l'image la plus typique de son implantation urbanistique si particulière. Elle doit sa particularité à l'ampleur du coteau idéalement exposé, ainsi qu'à sa configuration en pente douce et régulière.



Figure 26 : Vue emblématique lointaine du quartier en damier de la Chaux-de-Fonds © Yoan Vuillemez

La ville du Locle se trouve quant à elle dans des conditions topographiques différentes qui ont déterminé la morphologie de l'agglomération. Son tissu se caractérise par une planification rigoureuse en son centre et une implantation du construit sur les coteaux moins homogènes. On y retrouve aussi le parallélisme, à quelques exceptions près, dans toutes les rues les plus anciennes du site. Les points de vue de visibilité lointaine du Locle sont beaucoup moins nombreux que ceux de la Chaux-de-Fonds. Bien que ceux-ci soient tout aussi emblématiques, le nombre de toitures concernées par la visibilité lointaine est significativement inférieur. Pour toutes les toitures non visibles des environs, il s'agira de déterminer la visibilité proche en utilisant les abaques proposés par la méthode QSV.

Pour les deux villes, ces vues d'ensemble sont pleinement identitaires et font parties des éléments-clé qui doivent être considérés pour établir les exigences d'intégration. Les bâtiments se trouvant dans ces vues emblématiques se trouvent par définition, dans les zones de visibilité haute.



Figure 27 : Vue lointaine de la ville du Locle © Aline Henchoz, whc.unesco.org

Visibilité proche

Pour avoir une première idée du degré de visibilité des installations dans plusieurs situations urbaines, une étude paramétrique est nécessaire, donnant l'indication de ce degré en fonction de :

- la hauteur du bâtiment en nombre d'étages (à partir de 6 étages les toits deviennent généralement non visibles),
- l'inclinaison de la toiture,
- la distance entre le point de vue et le bâtiment, qu'on pourrait définir de manière générale par les mesures suivantes :
 - 5 m (rues en zone de ville ancienne),
 - 10 m (routes urbaines moyennes),
 - 20 m (routes urbaines larges / ou petites routes périphériques),
 - 30 m (petites places ou artères principales),

De manière générale, on peut évaluer le degré de visibilité d'une installation solaire en fonction de l'angle β sous lequel on voit cette dernière (Figure 28).

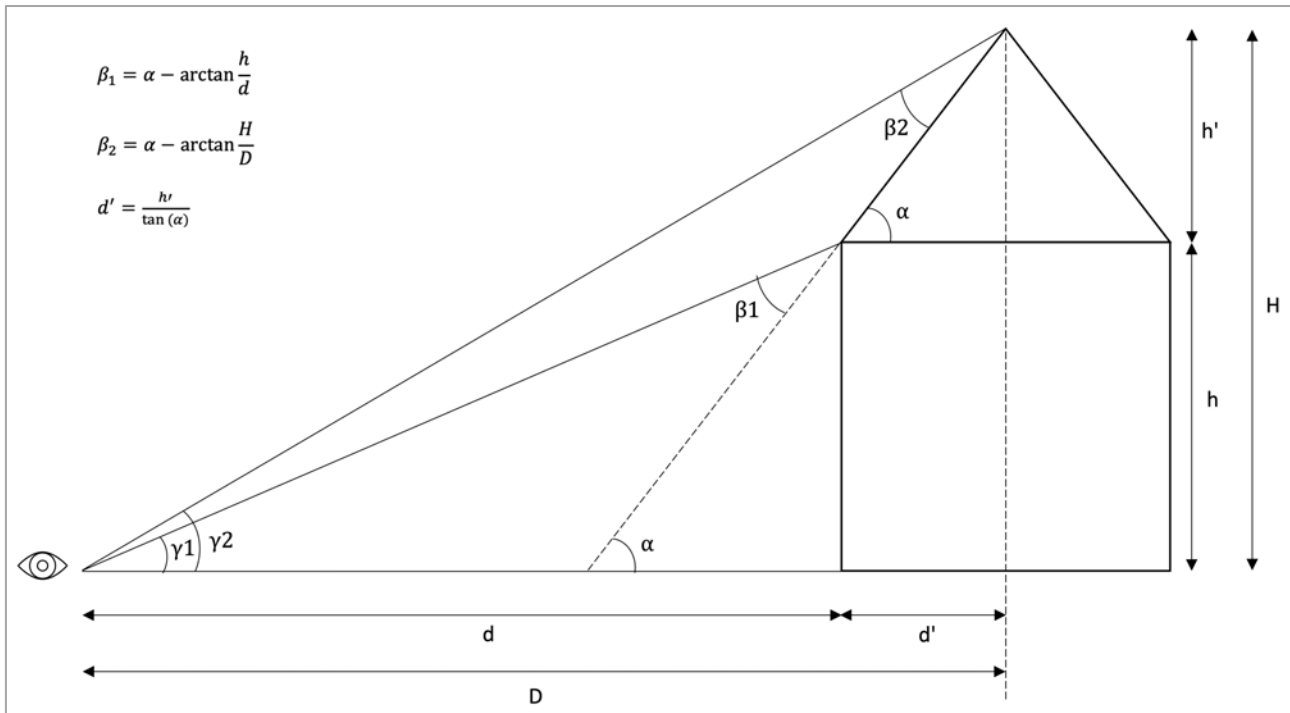


Figure 28 : Angles de vue de la rue sur la toiture et les panneaux solaires

En étudiant quelques situations typiques, on peut tirer certaines informations significatives sur la visibilité urbaine des toitures :

- Dans les rues étroites à moyennes (jusqu'à 10 m) des centres villes où les bâtiments sont en limite de propriété les toitures sont peu visibles, à moins qu'il ne s'agisse d'un bâtiment particulièrement bas avec une toiture très pentue. Dans ces situations la seule préoccupation pourrait venir de la visibilité lointaine si la topographie du lieu s'y prête.
- Dans les routes urbaines larges, ou en périphérie lorsque les bâtiments sont éloignés des limites de propriété (distance de vision d'env. 20 m), la visibilité reste généralement assez modérée, mais les toitures très inclinées (de 40° ou plus) deviennent davantage visibles et selon la hauteur du bâtiment on devra se confronter à des visibilités moyennes à hautes.
- Finalement, quand un bâtiment se trouve en face d'un large espace ouvert, comme une place publique (50 m ou plus), le facteur déterminant pour la visibilité est l'inclinaison du toit, alors que la hauteur du bâtiment ne l'influence presque plus. Les inclinaisons moyennes (autour de 20°) induisent toujours une visibilité moyenne, et les fortes inclinaisons (autour de 40°), toujours des visibilités hautes.

Une série de simulations graphiques (pour des installations intégrées) a permis d'établir qu'en dessous de 10% ($\beta < 6^\circ$) la surface peut être considérée comme non critique (visibilité basse). A partir d'environ 40% ($\beta = 24^\circ$), la surface commence à devenir très visible (visibilité haute). Entre ces deux limites la visibilité peut être considérée comme moyenne, (les détails du système ne sont pas bien reconnaissables, mais la présence du système est clairement perçue).

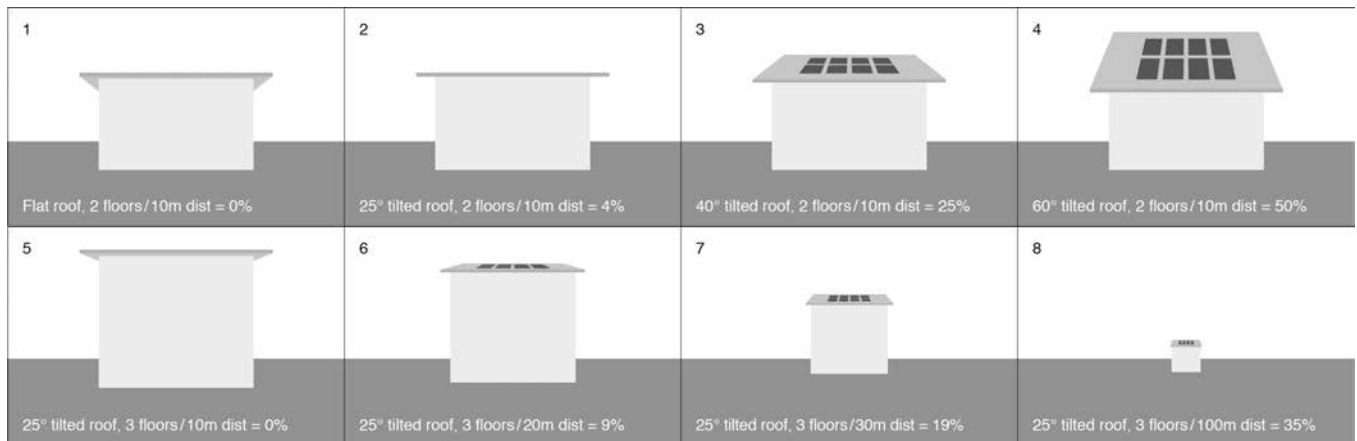


Figure 29 : Simulation de l'impact visuel des distances d'observation pour un bâtiment de 3 étages avec un toit en pente (Crédits EPFL/LESO-PB)

7.3 Cartes des zones de visibilité

Établissement des cartes de visibilité

Des cartes de visibilité ont été établies pour les villes du Locle et de La Chaux-de-Fonds, en tenant compte des critères mentionnés ci-dessus.

Comme nous avons pu le voir, la visibilité proche d'une installation solaire demande de connaître la hauteur du bâtiment, l'inclinaison de la toiture, ainsi que la distance entre le point de vue et le bâtiment. Quant à la visibilité lointaine, elle a été définie par une évaluation visuelle sur place couplée à des visites virtuelles au moyen d'outils en ligne.

Pour l'établissement des cartes de visibilité ont été utilisés les moyens suivants :

- Évaluation sur site
- Vues aériennes (photos et Google Earth)
- Données RegBL (hauteur des bâtiments)
- Données toitsolaire.ch (orientation et inclinaison des toitures)
- Guichet cartographique SITN
- Outil Excel développé pour l'étude

Pour les bâtiments à toiture plate, selon la méthode, la visibilité proche est définie comme visibilité basse. A quelques exceptions près (visibilité lointaine), les toitures plates sont donc quasiment toutes à visibilité basse, quelle que soit leur hauteur et les distances du point de vue.

Pour les bâtiments à toitures inclinées, la démarche a été la suivante :

- Déterminer sur quelle(s) toiture(s) peuvent être placés les modules solaires
- Trouver les informations nécessaires à l'évaluation de la **visibilité proche** :
 - Inclinaison de la toiture (donnée disponible sur www.toitsolaire.ch)

- Nombre d'étages du bâtiment (donnée normalement disponible sur www.map.geo.admin.ch, choisir carte RegBL, cliquer sur le bâtiment et choisir « information suppl. »)
- Distance entre le point de vue « critique » et le bâtiment (mesure possible sur le géoportail du canton <https://sitn.ne.ch>)
- Déterminer la **visibilité lointaine** (observation visuelle sur site ou au moyen d'outils en ligne)
- Introduire les données dans l'outil Excel développé pour l'étude

Évaluation de la visibilité pour les TOITURES INCLINÉES		
Inclinaison de la toiture	α	30°
Nb d'étages	n	3
Hauteur par étage	N	3.00 m
Hauteur hors combles	h	9.00 m
Hauteur combles	h'	3.00 m
Hauteur totale	H	12.00 m
Distance du point de vue au bâtiment	d	10.00 m
Distance intérieure	d'	5.20 m
Distance totale	D	15.20 m
Angle point de vue bas de la toiture	β_1	-12.0°
	β_1	-21.2%
Angle point de vue faite de la toiture	β_2	-8.3°
	β_2	-14.6%
Angle point de vue moyen	β	-10.1°
	β	-17.9%

voir sous www.toitsolaire.ch (paragraphe "votre surface de toit") [Lien](#)

voir sur www.map.geo.admin.ch, carte RegBL (cliquer sur le bâtiment et choisir "information suppl.") [Lien](#)

par défaut : 3 m

$h = n \cdot N$

par défaut : hauteur d'un étage

$H = h + h'$

mesure possible sur Geoportail SITN [Lien](#)

cf. formule dans schéma

$D = d + d'$

cf. formule dans schéma

cf. formule dans schéma

$\beta = (\beta_1 + \beta_2) / 2$

(si toiture inclinée, reporté sous "visibilité proche" ci-dessus)

Figure 30 : illustration de l'outil Excel d'évaluation de la visibilité pour les toitures inclinées

Les cartes ci-dessous présentent l'évaluation de la visibilité des toitures tenant compte des paramètres définis par la méthode.

A noter que l'application de la méthode a permis d'en mettre en évidence certaines limites, notamment quant à son utilisation à l'échelle d'une ville. Bien adaptée au cas par cas à l'échelle d'un bâtiment, cette méthode peut en effet engendrer des imprécisions dans l'établissement détaillés des cartes de visibilité pour un territoire plus étendu.

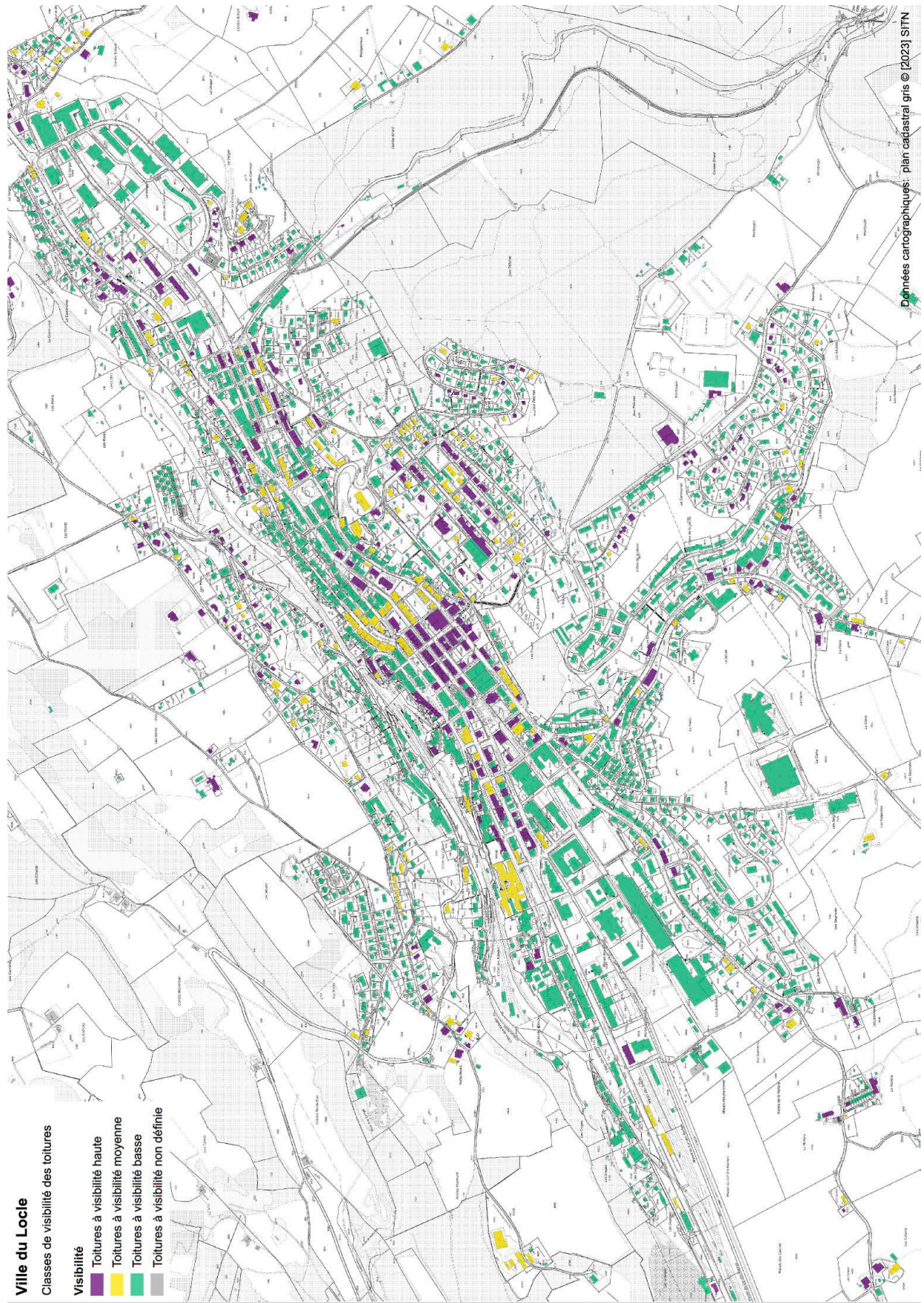


Figure 31 : Carte de visibilité, Ville du Locle

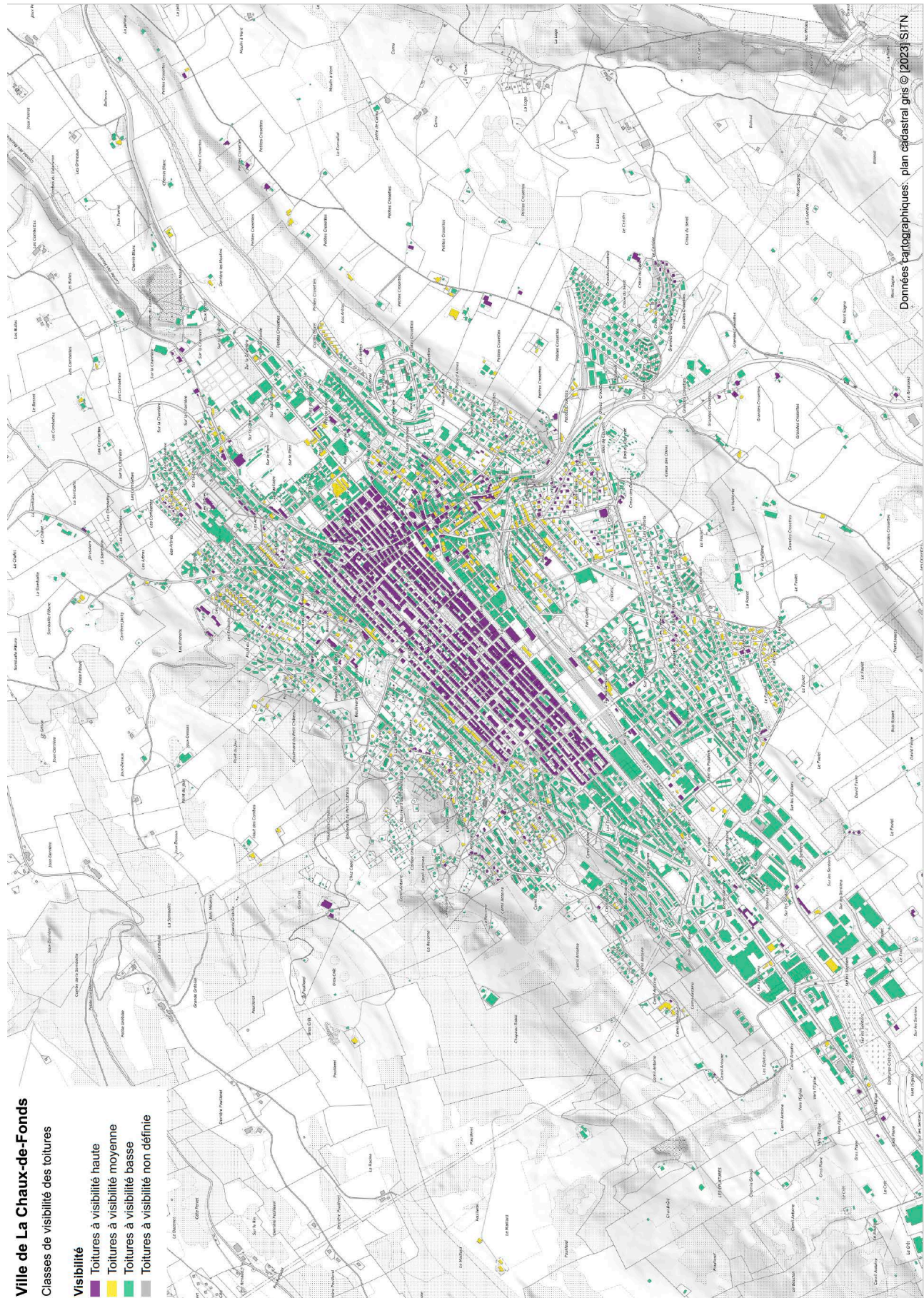


Figure 32 : Carte de visibilité, Ville de La Chaux-de-Fonds

8 Critères et grille d'acceptabilité

Pour la mise en place d'une grille d'acceptabilité de qualité adaptée, le tissu urbain des deux villes a dû être étudié autant en termes de visibilité proche et lointaine qu'au niveau des spécificités architecturales et urbaines déterminant la sensibilité des différents contextes.

Afin d'être perçu comme totalement intégré, un système devrait être conçu comme une partie intrinsèque de l'architecture du bâtiment. Cela signifie que toutes les caractéristiques formelles (visibles) du système solaire (géométrie du champs, matérialité du système, et trame modulaire des capteurs) devraient être cohérentes avec la logique architecturale globale du bâtiment. Or, si une telle qualité d'intégration peut être partout souhaitable, elle ne peut certainement pas être exigée pour chaque bâtiment, la qualité préalable des contextes urbains étant très variable, tout comme la visibilité des différentes surfaces depuis l'espace public.

Comme déjà vu au chapitre 4, la méthode LESO-QSV propose de prendre en compte ces différences et de nuancer les exigences d'intégration en fonction de la criticité de la situation en termes de visibilité et de sensibilité du contexte. Plus basse est la criticité, plus faible sera l'exigence de qualité, et vice-versa. Mais le niveau spécifique de qualité requis pour chacune des situations de criticité (pour chacune des 9 cases de la grille) doit également prendre en compte la réalité locale.

L'urgence énergétique actuelle, la non-disponibilité dans ces communes d'autres ressources renouvelables, ainsi que la réalité des produits solaires disponibles sur le marché, ont été considérées. Tout comme l'identité propre à ces villes, l'importance de leur histoire et de leur image ayant reçu la reconnaissance du Comité du patrimoine mondial, leur vocation technologique de haut niveau et leur importance touristique.

Chacun de ces aspects a été pris en compte en détail dans cette étude en dialogue avec les autorités et services impliqués, et deux grilles d'acceptabilité ont été établies pour faciliter le processus de décision (Figure 33 (pour les toitures plates) et Figure 34 (pour les toitures inclinées)). Pour chacune des villes et en fonction de leur zone de sensibilité, des recommandations pratiques additionnelles en termes d'utilisation des technologies solaires et de leur implémentation sont formulées. Il est important de noter que ces grilles, spécialement celle concernant les toitures inclinées, pourraient évoluer avec le temps et être mises à jour périodiquement en fonction des nouvelles réalités énergétiques, techniques, politiques, etc.

8.1 Toitures plates

Les toitures plates peuvent généralement être considérées comme non-critiques dans un ensemble donné, car la visibilité proche est définie comme basse par la méthode. Si l'on tient compte de la visibilité lointaine, certaines toitures doivent cependant respecter certaines exigences pour une intégration réussie et un impact visuel de l'installation limité. De même, une toiture plate d'un édifice ayant une valeur patrimoniale élevée (1^{ère} catégorie au RACN) devra être traitée de manière soignée afin d'en conserver sa substance et son authenticité. De manière générale, avec quelques adaptations selon les cas, si les critères d'intégration suivent les prescriptions minimales définies dans l'ordonnance fédérale sur l'aménagement du territoire (art. 32a OAT ; RS 700.1), on peut considérer un impact visuel de l'installation restreint.

Critères d'intégration dans la zone de sensibilité basse

Dans la zone de sensibilité basse, en cas de visibilité basse ou moyenne de l'installation, aucune exigence n'est demandée, à l'exception des édifices ayant une valeur patrimoniale élevée (1^{ère} catégorie au RACN). Ceux-ci devront être traités de manière soignée afin d'en conserver la substance et l'authenticité.

→ Grille d'acceptabilité (Figure 33) : chiffres 1 et 2

Dans la zone de sensibilité basse, en cas de visibilité haute de l'installation, une **exigence moyenne** est demandée sur la **géométrie du système** et sur la **matérialité des modules** (module full black, sans cadre ou cadrés noir). Les édifices ayant une valeur patrimoniale élevée (1^{ère} catégorie au RACN) devront être traités de manière soignée afin d'en conserver la substance et l'authenticité.

L'installation solaire doit être cohérente avec l'orientation et les lignes architecturales de la toiture, doit former un ensemble groupé ou du moins optimisé en fonction des éléments présents en toiture (puits de lumière, aération, tuyauterie, etc.). De plus, l'installation solaire doit être peu réfléchissante selon l'état actuel des connaissances techniques.

Ces exigences correspondent aux prescriptions minimales définies dans l'ordonnance fédérale sur l'aménagement du territoire (art. 32a OAT ; RS 700.1).

→ Grille d'acceptabilité (Figure 33) : chiffre 3

Critères d'intégration dans la zone de sensibilité moyenne

Dans la zone de sensibilité moyenne, en cas de visibilité basse de l'installation, aucune exigence n'est demandée, à l'exception des édifices ayant une valeur patrimoniale élevée (1^{ère} catégorie au RACN). Ceux-ci devront être traités de manière soignée afin d'en conserver la substance et l'authenticité.

→ Grille d'acceptabilité (Figure 33) : chiffre 4

Dans la zone de sensibilité moyenne, en cas de visibilité moyenne ou haute de l'installation, une **exigence moyenne** est demandée sur la **géométrie du système** et sur la **matérialité des modules** (module full black, sans cadre ou cadrés noir). Les édifices ayant une valeur patrimoniale élevée (1^{ère} catégorie au RACN) devront être traités de manière soignée afin d'en conserver la substance et l'authenticité.

L'installation solaire doit être cohérente avec l'orientation et les lignes architecturales de la toiture, doit former un ensemble groupé ou du moins optimisé en fonction des éléments présents en toiture (puits de lumière, aération, tuyauterie, etc.). De plus, l'installation solaire doit être peu réfléchissante selon l'état actuel des connaissances techniques.

Ces exigences correspondent aux prescriptions minimales définies dans l'ordonnance fédérale sur l'aménagement du territoire (art. 32a OAT ; RS 700.1).

→ Grille d'acceptabilité (Figure 33) : chiffres 5 et

Critères d'intégration dans la zone de sensibilité haute

Dans la zone de sensibilité haute, en cas de visibilité basse de l'installation, une **exigence moyenne** est demandée sur la **géométrie du système** et sur la **matérialité des modules** (module full black, sans cadre ou cadrés noir). Les édifices ayant une valeur patrimoniale élevée (1^{ère} catégorie au RACN) devront être traités de manière soignée afin d'en conserver la substance et l'authenticité.

L'installation solaire doit être cohérente avec l'orientation et les lignes architecturales de la toiture, doit former un ensemble groupé ou du moins optimisé en fonction des éléments présents en toiture (puits de lumière, aération, tuyauterie, etc.). De plus, l'installation solaire doit être peu réfléchissante selon l'état actuel des connaissances techniques.

Ces exigences correspondent aux prescriptions minimales définies dans l'ordonnance fédérale sur l'aménagement du territoire (art. 32a OAT ; RS 700.1).

→ Grille d'acceptabilité (Figure 33) : chiffre 7

Dans la zone de sensibilité haute, en cas de visibilité moyenne ou haute de l'installation, une **exigence moyenne** est demandée sur la **géométrie du système**, sur la **matérialité des modules** (module full black, sans cadre ou cadrés noir) et sur la **trame modulaire**. Les édifices ayant une valeur patrimoniale élevée (1^{ère} catégorie au RACN) devront être traités de manière soignée afin d'en conserver la substance et l'authenticité.

L'installation solaire doit être cohérente avec l'orientation et les lignes architecturales de la toiture, doit former un ensemble groupé ou du moins optimisé en fonction des éléments présents en toiture (puits de lumière, aération, tuyauterie, etc.). De plus, l'installation solaire doit être peu réfléchissante selon l'état actuel des connaissances techniques. Le format des modules, le système de montage, la ferblanterie et les joints doivent être choisis avec soin et doivent présenter un impact visuel le plus réduit possible.

→ Grille d'acceptabilité (Figure 33) : chiffres 8 et 9

Grille d'acceptabilité toitures plates

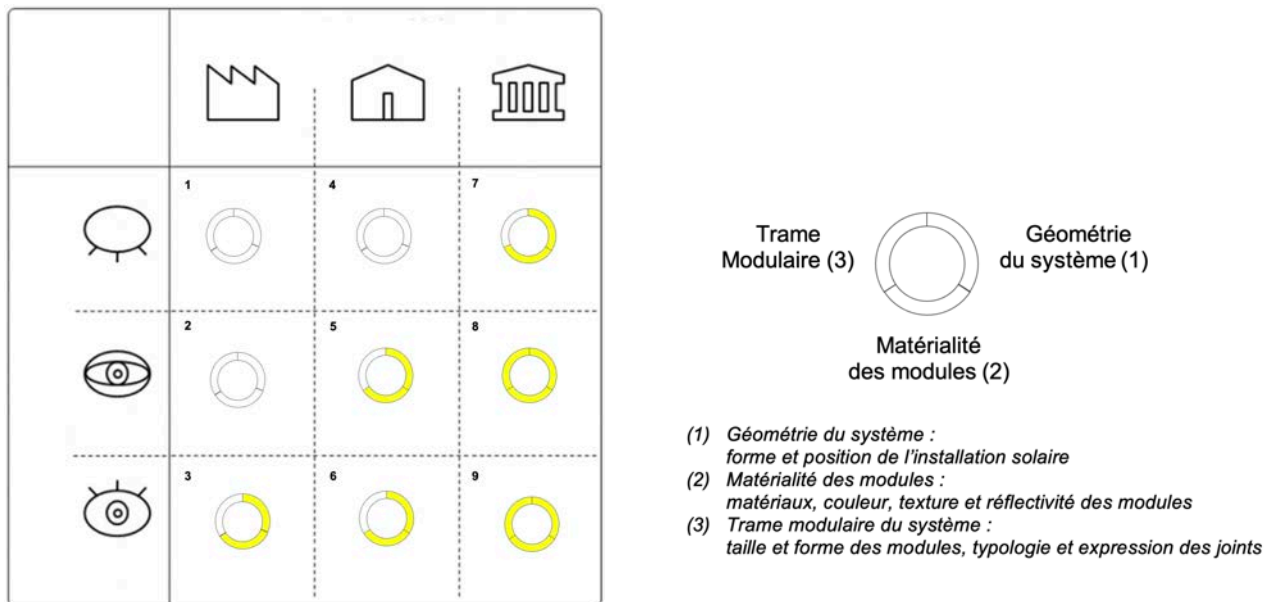


Figure 33 : Grille d'acceptabilité toitures plates pour les villes du Locle et de La Chaux-de-Fonds

8.2 Toitures inclinées

Les toitures inclinées sont plus critiques dans un ensemble donné, car tant la visibilité proche que la visibilité lointaine peuvent être définies comme haute par la méthode.

Remarque générale : quels que soient les cas décrits ci-dessous, les modules imitant la tuile par le format et leur couleur (tuiles solaires, cf. chapitre 6.2, référence [PV-Tuiles]) ne sont pas considérés comme solution d'intégration adaptée dans le contexte de cette étude. En effet, l'authenticité et la matérialité d'un édifice ayant une valeur patrimoniale élevée devant être préservées, ce type de technologies ne permettent pas de remplir ce critère et un effet de « mimétisme » n'est pas souhaitable. Il s'agit plutôt d'assumer l'intégration de panneaux solaires installés de manière soignée et selon les exigences décrites ci-dessous.

Critères d'intégration dans la zone de sensibilité basse

Dans la zone de sensibilité basse, en cas de visibilité basse ou moyenne de l'installation, aucune exigence, autre que celles exprimées par la LAT et son ordonnance, n'est demandée, à l'exception des édifices ayant une valeur patrimoniale élevée (1^{ère} catégorie au RACN). Ceux-ci devront être traités de manière soignée afin d'en conserver la substance et l'authenticité.

→ Grille d'acceptabilité (Figure 34) : chiffres 1 et 2

Dans la zone de sensibilité basse, en cas de visibilité haute de l'installation, une **exigence moyenne** est demandée sur la **géométrie du système** et sur la **matérialité des modules** (module full black, sans cadre ou cadrés noir). Les édifices ayant une valeur patrimoniale élevée (1^{ère} catégorie au RACN) devront être traités de manière soignée afin d'en conserver la substance et l'authenticité.

L'installation solaire doit former un ensemble groupé et sa géométrie doit tenir compte des lignes architecturales de la toiture. De plus, l'installation solaire doit être peu réfléchissante selon l'état actuel des connaissances techniques. Au minimum sont exigés des modules full black (cf. chapitre

6.2, référence [PV-Standard-FullB] ou [PV-SMesure-FullB]) ou des modules rappelant la couleur d'origine du revêtement de la toiture (cf. chapitre 6.2, référence [PV-Standard-Coloré] ou [PV-SMesure-Coloré]).

→ Grille d'acceptabilité (Figure 34) : chiffre 3

Critères d'intégration dans la zone de sensibilité moyenne

Dans la zone de sensibilité moyenne, en cas de visibilité basse de l'installation, aucune exigence n'est demandée, autre que celles exprimées par la LAT et son ordonnance, à l'exception des édifices ayant une valeur patrimoniale élevée (1^{ère} catégorie au RACN). Ceux-ci devront être traités de manière soignée afin d'en conserver la substance et l'authenticité.

→ Grille d'acceptabilité (Figure 34) : chiffre 4

Dans la zone de sensibilité moyenne, en cas de visibilité moyenne ou haute de l'installation, une **exigence moyenne** est demandée sur la **géométrie du système** et sur la **matérialité des modules** (module full black, sans cadre ou cadrés noir). Les édifices ayant une valeur patrimoniale élevée (1^{ère} catégorie au RACN) devront être traités de manière soignée afin d'en conserver la substance et l'authenticité.

L'installation solaire doit former un ensemble groupé, sans trous ni découpes, et sa géométrie doit tenir compte des lignes architecturales de la toiture. De plus, l'installation solaire doit être peu réfléchissante selon l'état actuel des connaissances techniques. Au minimum sont exigés des modules full black (cf. chapitre 6.2, référence [PV-Standard-FullB] ou [PV-SMesure-FullB]) ou des modules rappelant la couleur d'origine du revêtement de la toiture (cf. chapitre 6.2, référence [PV-Standard-Coloré] ou [PV-SMesure-Coloré]).

→ Grille d'acceptabilité (Figure 34) : chiffres 5 et 6

Critères d'intégration dans la zone de sensibilité haute

Les questions patrimoniales étant prépondérantes dans cette zone d'exception, il conviendrait d'y éviter l'installation de panneaux solaires, afin d'en préserver les qualités reconnues tant internationalement que nationalement. Les propriétaires de biens se trouvant dans la zone de sensibilité haute et souhaitant investir dans une installation solaire sont ainsi encouragés à adopter une solution alternative telle que la participation dans une coopérative solaire comme présenté au chapitre 10 de ce rapport.

Des installations solaires dans cette zone d'exception pourraient cependant être autorisées moyennant le respect de strictes conditions d'intégration qui vont être énumérées ci-dessous. Elles nécessitent des interventions soignées et étudiées en tenant compte du contexte urbain large et des caractéristiques patrimoniales. Les installations ne doivent ainsi pas porter atteintes aux attributs identifiés, lesquels portent la valeur universelle exceptionnelle du site (cf. chapitre 4.1), et ne pas perturber la lisibilité de la typologie urbanistique en « bandes parallèles étroites » ainsi que la lecture architecturale globale de cette zone à valeur exceptionnelle. En ce sens, il est nécessaire de traiter avec homogénéité les installations au niveau des îlots de bâtiments et pas uniquement de considérer une partie d'îlot de manière décontextualisée. Dans tous les cas, l'aspect patrimonial est prépondérant dans cette zone et seules les installations parfaitement intégrées et cohérentes en regard du bâti existant peuvent être autorisées.

Dans la zone de sensibilité haute, en cas de visibilité basse de l'installation, une **exigence moyenne** est demandée sur la **géométrie du système**. Une **exigence haute** est demandée sur la **matérialité des modules**.

L'installation solaire doit former un ensemble groupé, sans trou ni découpe, et la géométrie doit tenir compte de la forme de la toiture. De plus, l'installation solaire doit être peu réfléchissante selon l'état actuel des connaissances techniques. La pose de modules teintés rappelant la couleur d'origine du revêtement de la toiture est à privilégier (cf. chapitre 6.2, référence [PV-Standard-Coloré] ou [PV-SMesure-Coloré]).

→ Grille d'acceptabilité (Figure 34) : chiffre 7

Dans la zone de sensibilité haute, en cas de visibilité moyenne ou haute de l'installation, une **exigence moyenne** est demandée sur la **géométrie du système** et sur la **trame modulaire**. Une **exigence élevée** est demandée sur la **matérialité des modules**.

L'installation solaire doit former un ensemble groupé, sans trou ni découpe, et sa géométrie doit tenir compte de la forme de la toiture. Dans le cadre d'îlots, les installations en bandeau permettant de souligner la structure urbanistique sont à privilégier. Le format des modules, le système de montage, la ferblanterie et les joints doivent être choisis avec soin et doivent présenter un impact visuel le plus réduit possible. De plus, l'installation solaire doit être peu réfléchissante selon l'état actuel des connaissances techniques. La pose de modules teintés rappelant la couleur d'origine du revêtement de toiture est à privilégier (cf. chapitre 6.2, référence [PV-Standard-Coloré] ou [PV-SMesure-Coloré]).

→ Grille d'acceptabilité (Figure 34) : chiffres 8 et 9

Grilles d'acceptabilité toitures inclinées

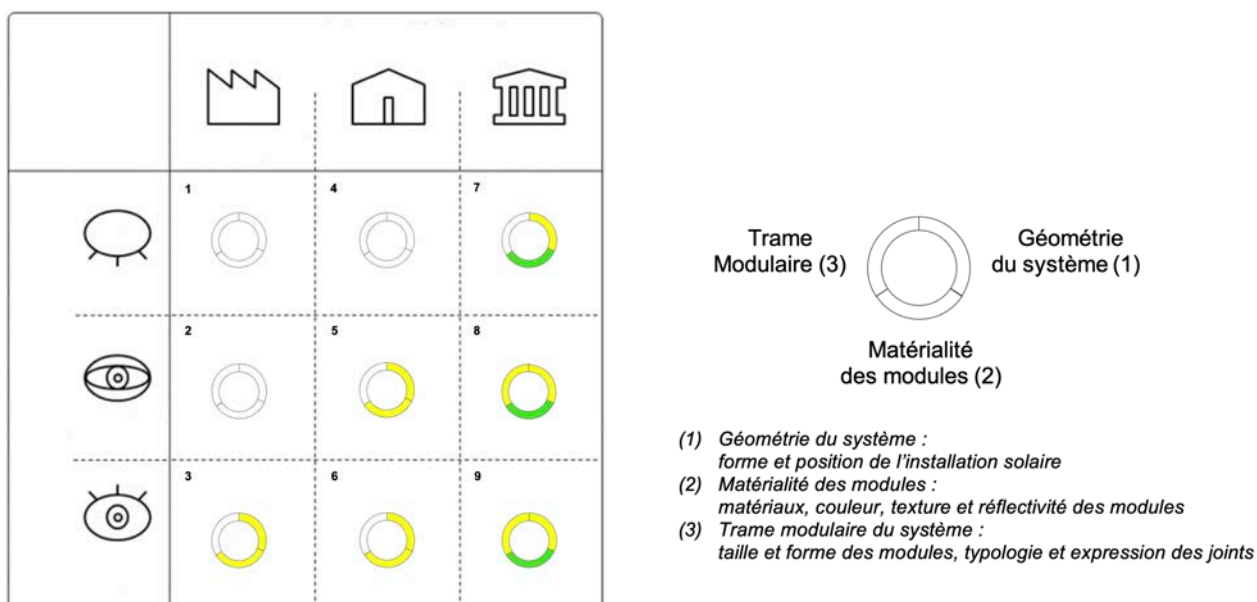


Figure 34 : Grille d'acceptabilité toitures inclinées pour les villes du Locle et de La Chaux-de-Fonds

8.3 Façades, garages et mobilier urbain

Quelle que soit la zone de criticité, les installations solaires en façade, sur garage ou en tant que mobilier urbain doivent être étudiées au cas par cas.

Façades

De manière générale, l'utilisation des façades comme surface de production solaire représente un potentiel non négligeable. Elles sont spécialement recommandées sur des bâtiments commerciaux, industriels ou d'habitation dont l'architecture moderne s'y prête facilement.

Il n'est pas envisageable de recommander l'intégration de panneaux solaires en façades sur des bâtiments d'architectures traditionnelles se trouvant dans le périmètre inscrit au patrimoine mondial de l'UNESCO ni dans un périmètre/ensemble A de l'inventaire fédéral ISOS ou sur les bâtiments de 1^{ère} catégorie au recensement architectural du canton de Neuchâtel. En effet, les façades de ces bâtiments contribuent aux qualités patrimoniales et architecturales des deux villes et la mise en œuvre d'installations solaires ne peut pas répondre à des critères d'intégration architecturale convenable.



Figure 35 : Exemples d'une nouvelle construction et de rénovations sur lesquelles le solaire a été intégré sur les façades (Nouvelle construction à Buochs, Le Silo Bleu de Renens, le Mail, Viriden Zurich)

Garages et constructions annexes

Les toitures et couverts de garages, qui sont généralement à toitures plates peuvent être équipés de panneaux solaires standards quelle que soit la zone dans laquelle ils se trouvent. Ils ont l'avantage de permettre des installations techniquement simples et efficaces et permettent

également d'équiper les garages de bornes de recharge solaire pour les véhicules électriques. Ces bornes de recharge sont alimentées par l'énergie solaire produite par les panneaux solaires installés directement sur le toit du garage.



Figure 36 : Exemples d'installations solaires intégrées de modules colorés de format adapté à la trame de la toiture original

Mobilier urbain

Le mobilier urbain, comme les bancs, les abribus, les kiosques et les lampadaires, peut être équipé de panneaux solaires pour produire de l'énergie électrique pour les besoins de l'éclairage, de la signalisation ou des services publics. Ces installations sont intéressantes dans le sens qu'elles permettent également une sensibilisation du grand public à la thématique et rend d'une certaine manière plus tangible son appréhension.



Figure 37 : Exemples de mobiliers urbains permettant de porter une information didactique ou artistique comme le propose l'association Compáz

9 Calcul du potentiel solaire des différentes zones de sensibilité au Locle et à La Chaux-de-Fonds

En vue de mettre en place une grille d'exigences d'intégration pertinente et réellement adaptée à la complexité des enjeux, une étude approfondie du potentiel solaire a été menée pour chacune des zones de sensibilité des deux villes. Ceci a permis de prendre conscience du poids réel que chaque zone peut avoir dans la production énergétique globale, et d'inclure cette information dans les réflexions sur les exigences à mettre en place lors de l'élaboration des stratégies de préservation de la qualité du contexte bâti.

Le potentiel solaire de chaque zone a été identifié en se basant dans un premier temps sur le recensement existant « toitsolaire.ch » établi par l'OFEN (Figure 38 et Figure 39). Celui-ci définit le potentiel solaire de chaque toiture en suisse et l'illustre en différents niveaux d'aptitude : excellente, très bonne, bonne, moyenne et faible. Dans cette étude, le niveau d'aptitude faible n'a pas été considéré dans le calcul du potentiel solaire des deux villes.

L'outil toitsolaire.ch considère que les toitures peuvent être couvertes de panneaux solaires à 70% de leur surface. Les surfaces de toits ne peuvent en effet jamais être intégralement recouvertes en raison de contraintes architecturales et/ou de restrictions techniques.

Dans le but de définir le potentiel solaire de ces toitures de manière plus précise et réaliste, nous avons effectué un certain nombre de simulations sur des bâtiments et ilots de bâtiments archétypes. Ces simulations ont été faites en optimisant le calepinage selon des critères d'intégration optimale, ceci pour deux types de technologies, des panneaux noirs de format standard (référence) avec une puissance de 208 W/m^2 et des panneaux de couleur de la tuile dont les performances électriques sont de 150 W/m^2 . Les valeurs des puissances de ces panneaux peuvent varier selon les fournisseurs et évoluent très rapidement. Nous avons considéré ici des valeurs moyennes du marché actuel. Les simulations montrent qu'il serait techniquement possible de couvrir 60% des toitures des bâtiments situés à l'intérieur d'un périmètre/ensemble A de l'inventaire fédéral ISOS et/ou sur les bâtiments recensés comme remarquables avec note 0 à 3 au Plan de Site (RACN). Nous avons donc soustrait 10% additionnels aux valeurs données par l'OFEN pour l'ensemble des surfaces des toitures concernées.

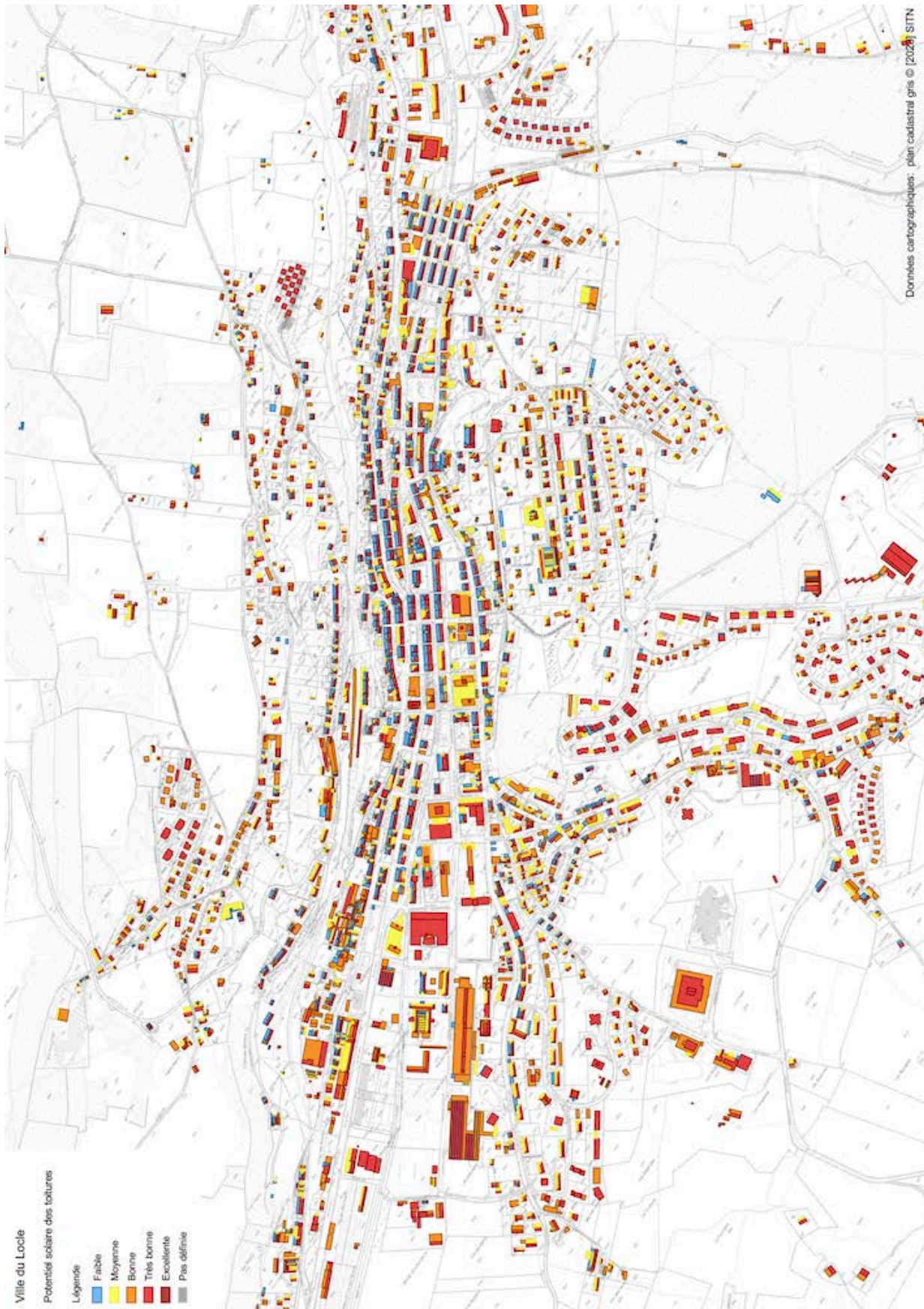


Figure 38 : Potentiel solaire de la Ville du Locle selon toitsolaire.ch



Figure 39 : Potentiel solaire de la Ville de La Chaux-de-Fonds selon toitsolaire.ch

9.1 Résumé du calcul de potentiel

Étape 1 : Calcul des surfaces de toitures à disposition selon recommandation de cette étude

Surfaces des toitures de toitsolaire.ch (aptitude excellente à moyenne) – 10% pour les bâtiments situés à l'intérieur d'un périmètre/ensemble A de l'inventaire fédéral ISOS et/ou sur les bâtiments recensés comme "remarquables" avec une note de 0 à 3 au Plan de Site (RACN).

Étape 2 : Calcul de la puissance théorique pouvant être installée sur les surfaces de toitures calculées dans l'étape 1.

Les surfaces ont été multipliées par la puissance des modules solaires recommandés (modules noirs = 208 W/m², modules colorés = 150W/m²)

Le tableau ci-dessous présente les résultats en m² des surfaces de toitures exploitables pour une installation solaire, par zones de sensibilité pour les villes du Locle et de la Chaux-de-Fonds.

Tableau 1 : Surfaces de toitures exploitables pour le solaire selon les recommandations de cette étude. Ensemble des toitures d'aptitude excellente à moyenne, y compris les bâtiments de 1^{ère} catégorie selon le RACN.

Zones de sensibilité	Le Locle [m ²]	La Chaux-de-Fonds [m ²]
Basse	142'782	533'877
Moyenne	277'443	681'057
Haute	186'974	595'633
Total	607'199	1'810'567

Tableau 2 : Potentiel de puissance théorique pour chacune des zones de sensibilité si aucune exigence (panneaux noirs standards apposés). Ensemble des toitures de moyenne et haute aptitude y compris les bâtiments de 1^{ère} catégorie selon le RACN.

Zones de sensibilité	Le Locle [kW]	La Chaux-de-Fonds [kW]
Basse	29'698	111'046
Moyenne	57'708	141'659
Haute	38'890	123'891
Total	126'296	376'596

Tableau 3 : puissance théorique pour chacune des zones de sensibilité selon les recommandations de cette étude y compris sur le choix technologique. Ensemble des toitures d'aptitude excellente à moyenne, y compris les bâtiments de 1^{ère} catégorie selon le RACN.

Zones de sensibilité	Le Locle [kW]	La Chaux-de-Fonds [kW]
Basse	29'491	110'777
Moyenne	57'520	140'905
Haute	28'046	89'345
Total	115'057	341'027

On note ainsi une différence de puissance due aux exigences liées à l'obligation de l'utilisation de panneaux colorés de **8.9%** pour la ville du Locle et de **9.45%** pour la ville de La Chaux-de-Fonds.

Tableau 4 : part de la puissance théorique pour chacune des zones de sensibilité selon les recommandations de cette étude et part de la puissance théorique représentée par les bâtiments de 1^{ère} catégorie selon le RACN.

Zones de sensibilité	Le Locle	La Chaux-de-Fonds
Basse	26%	33%
Moyenne	50%	41%
Haute	24%	26%
Part Cat 1. RACN uniquement	6.2%	7.6%

Ces résultats confirment la stratégie de faciliter et accélérer l'implémentation du solaire en priorité dans les zones de sensibilité basse et moyenne. En effet, pour les deux villes, les trois-quarts du potentiel se trouve dans ces zones-là.

L'exigence de la couleur pour les installations solaires se trouvant dans la zone de sensibilité haute représente un surcoût d'investissement au niveau du module solaire de 20% par rapport à l'utilisation d'un module noir et un rendement inférieur de 12% pour un module couleur tuile de même format. Le tableau 5 montre la comparaison de produits existants actuellement sur le marché. Il est à noter que les prix évoluent rapidement de manière dégressive pour les modules colorés au fur et à mesure que le marché grandit. Néanmoins, cela montre la nécessité de trouver des solutions d'encouragements financiers, voire alternative (comme l'investissement dans une coopérative solaire plutôt que sur son propre bien). Le chapitre 10 donne quelques pistes possibles.

Tableau 5 : Comparaison en termes de puissance et de coût des modules noirs standards et des modules colorés ainsi que d'un module coloré permettant une pause intégrée.

Couleur ⁸	Format [mm]	Puissance [W/m ²]	Prix [CHF/W]	Prix [CHF/m ²]	Application
Noir	1835*1042	208	0.49	102	Ajouté sur tuile
Couleur tuile (RAL 3007)	1835*1042	183	0.69	126	Ajouté sur tuile
Couleur tuile (RAL 8002)	1835*1042	150	0.84	126	Ajouté sur tuile
Couleur tuile (RAL 8002)	1570*554	150	1.86	279	Intégré

⁸ Les modules de format 1835 x 1042 mm brune et terracotta sont fabriqués avec la technologie de Solaxess. Le module de format 1570 x 554 mm terracotta est fabriqué avec une technologie d'impression céramique du verre. Tous les modules mentionnés ici sont de manufactures européennes.

10 Modèles économiques

10.1 Contexte

Les réglementations en vigueur ainsi que les coûts de certains types d'infrastructures solaires, notamment de couleurs et intégrées, peuvent représenter des freins importants. Nous pensons qu'il est plus que nécessaire, et possible, de mettre en place des modèles qui soient à la fois adaptatifs, malléables et inclusifs.

En première approche, il nous a semblé important d'identifier différents modèles économiques permettant de concrétiser les installations décrites. L'idée est ici de prendre connaissance des potentiels de financement afin de les adapter à chaque projet.

Chaque installation qui sera réalisée pourra avoir un statut particulier adapté aux conditions locales, les solutions décrites ci-après pourront donc être ajustées, mixées et arrangées.

En tout état de cause, il est primordial de créer les conditions cadres permettant de trouver des solutions financières et de structure de la maîtrise d'ouvrage qui rendront possible la concrétisation, aussi rapidement que possible, d'un grand nombre de projets sur le territoire bâti des deux villes.

10.2 Liste et première analyse des variantes d'installations solaires photovoltaïques en vue du financement

Nous souhaitons souligner ici au préalable que nous n'avons pas hiérarchisé les avantages et inconvénients listés ci-après pour chacune des variantes. Il reste du ressort des acteurs intéressés d'évaluer chacune des variantes et de les prioriser.

Variante 1 – Financement privé en société simple

Ce cas de figure est celui d'une personne physique qui souhaiterait devenir porteur d'un projet, typiquement le propriétaire d'un bâtiment qui souhaiterait investir dans une installation solaire photovoltaïque en toiture de son bâtiment. Le propriétaire gèrerait alors le projet et en assumerait la maîtrise d'ouvrage, c'est-à-dire également l'investissement et l'exploitation. Ce qui n'exclut pas de confier des missions, par exemple de planification et d'exploitation, à des professionnels de la branche. C'est actuellement la variante la plus connue et la plus courante.

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> - Rapidité décisionnelle. - Cas standard, donc bien connu par les professionnels de la branche. - Les éventuels locataires peuvent participer en consommant et rachetant le courant vert photovoltaïque produit sur le toit de l'immeuble qu'ils occupent. 	<ul style="list-style-type: none"> - Connaissances techniques et réglementaires du MO parfois limitées. - Budget disponible pouvant être insuffisant. - Difficulté d'accès à l'emprunt bancaire et taux moins favorables. - Les surcoûts engendrés par les exigences dans la zone de haute criticité peuvent allonger le temps de retour sur investissement.

Variante 2 – Bâtiments et installations 100% propriétés de la commune

Ce cas de figure est celui d'une commune qui investit dans des installations solaires sur ses propres bâtiments.

Cette variante implique que les services communaux gèrent le projet et en assument la maîtrise d'ouvrage, c'est-à-dire également l'investissement. Ce qui n'exclut pas de confier des missions, par exemple de planification et d'exploitation, à des professionnels de la branche.

La capacité financière de la commune pour un tel projet doit être confirmée sur la base des lois cantonales sur les finances de l'État et des Communes (relevons encore le devoir d'exemplarité des autorités publiques inscrit dans la loi sur l'énergie du Canton de Neuchâtel).

Les communes peuvent également mettre en place et gérer des projets participatifs. Certaines communes ont permis à leurs habitants d'investir dans des projets photovoltaïques contre un retour purement financier. Ceci est notamment le cas pour les villes d'Yverdon et Delémont.

À Yverdon, il y a eu des campagnes de récolte de fonds par projet, avec un premier projet en 2012, et un second en 2019. Dans ce cas, l'énergie produite est vendue et les participants/investisseurs reçoivent chaque année le montant de la vente de l'énergie qu'ils ont contribué à produire. Le montant minimal de financement est de CHF 500.- (<https://www.yverdon-energies.ch/particuliers/energies-renouvelables/mix-energetique-particuliers/solaire-participatif-particulier/>).

A Delémont, les intéressés peuvent faire des prêts sur 25 ans à la Ville de Delémont, et la Ville investit ces montants dans des projets photovoltaïques locaux. Les montants prêtés peuvent aller de CHF 500.- à CHF 100'000.-, et ils sont amortis par un 25ème chaque année, avec un intérêt de 2.25% en sus. Le contrat de prêt stipule également que la Ville se réserve le droit de refuser des prêteurs sans justification (<https://sid.delemont.ch/sid/Particuliers/Production-renouvelable/De-l-energie-solaire-pour-vous.html>).

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> - Excellente connaissance du règlement par le MO. - Accès facilité à l'emprunt bancaire et taux favorables. - Possibilité de synergies entre le personnel d'exploitation de l'installation et le personnel communal. - Possibilité de synergies avec d'autres travaux d'amélioration énergétiques communaux. - Possibilité de mandater des experts externes. - Les éventuels locataires peuvent participer en consommant et rachetant le courant vert photovoltaïque produit sur le toit de l'immeuble qu'ils occupent. - Possibilité de créer un projet participatif purement financier. 	<ul style="list-style-type: none"> - Limitation possible des investissements dans le cadre des lois sur les finances de l'État et des Communes. - Veto toujours possible du Conseil général. - Risque de référendum populaire. - Lourdeur des marchés publics dans le cadre de l'attribution des travaux (perte de temps, recours possibles).

Variante 3 – Installations 100% propriétés d'un gestionnaire de réseau de distribution d'énergie (GRD)

Dans cette configuration, un gestionnaire de réseau de distribution d'énergie (GRD), ici probablement Viteos, loue les toitures et devient maître de l'ouvrage des installations solaires qu'il y réalise.

Les services techniques ainsi que les entreprises dans le giron du GRD établissent le projet, procèdent aux travaux et exploitent les installations. A noter qu'il n'est pas exclu d'externaliser ces tâches, le projet tombant alors sous le coup de la loi sur les marchés publics.

Beaucoup de GRD proposent, ou ont proposé à un moment donné, à leurs clients de participer directement à un investissement dans une centrale solaire. Dans ce cas, contre versement d'une somme d'argent, le client obtient une part virtuelle dans une installation solaire. Typiquement, en contrepartie, il va recevoir, sur sa facture d'électricité, le crédit d'un certain nombre de kWh d'énergie solaire par an, et ceci pour un nombre prédéfini d'années.

Voici une liste de quelques propositions des GRD allant dans ce sens :

- « Jardin d'énergie » de Romande Energie Morges
<https://blog.romande-energie.ch/images/upload/articles/jardin-solaire.pdf>
- « Mon m² solaire » des SIG Genève
<https://ww2.sig-ge.ch/particuliers/offres/solaire/offres-solaires/m2-solaire>
- « ewz Solarzüri » de EWZ Ville de Zürich
<https://www.ewz.ch/de/private/strom/produkte/ewz-solarzueri.html>
- « IWB sonnenbox crowd » IWB Bâle
<https://www.iwb.ch/Fuer-Zuhause/Solarenergie/Solarstrom-teilen.html>

Pour les principaux GRD actifs dans le canton de Neuchâtel (Groupe E, Viteos et Eli10) aucun produit lié à ce type d'investissement n'a été identifié.

L'avantage de ces produits est que pour le client, l'offre est claire, transparente et sans aucun risque.

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> - Excellente connaissance du règlement par le MO. - Accès facilité à l'emprunt bancaire et taux favorables. - Personnel du GRD pouvant gérer l'entier du projet. - Possibilité d'inclure les clients en leur proposant l'achat d'une part de l'installation. - Les éventuels locataires peuvent participer en consommant et rachetant le courant vert photovoltaïque produit sur le toit de l'immeuble qu'ils occupent. - Possibilité de solliciter des financements privés – cf. villes de Delémont et Yverdon. 	<ul style="list-style-type: none"> - Éventuelle lourdeur des marchés publics (perte de temps, recours possibles) s'il est décidé d'externaliser la réalisation du projet. - Réalisation des installations les plus rémunératrices. - Surcoût pour les clients qui participent.

Variante 4 – Création d'une société anonyme, SA

Des investisseurs peuvent se réunir afin de créer une SA, à noter que la participation d'une ou plusieurs communes au capital d'une SA (CHF 100'000.-) est envisageable et autorisée par l'État. Elle(s) peut(vent) même y être majoritaire(s). Les autres actionnaires pourraient par exemple être une société de GRD (ici probablement Viteos), des privés (propriétaires ou locataires), une ou plusieurs entreprises sises sur territoire communal, etc.

Les difficultés résident dans le montage de l'actionariat et dans l'obtention d'une garantie financière pour le prêt bancaire, afin de pouvoir bénéficier de taux d'intérêts attractifs.

La question de la rémunération des actionnaires propriétaires est ouverte.

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> - Liberté d'attribution des marchés (gain de temps) (sauf si la commune ou des entités publiques sont majoritaires). - Possibilité d'impliquer les locataires, propriétaires, entreprises du secteur dans la SA. 	<ul style="list-style-type: none"> - Lourdeur du montage financier et du montage administratif. - Difficulté de trouver le financement initial pour l'établissement du projet. - Nécessité de trouver des garanties financières pour un emprunt bancaire (commune, canton). - Prix de l'énergie pouvant être renchéri par la nécessité de rémunérer l'actionariat.

Variante 5 – Création d'une société à responsabilité limitée, Sàrl

La situation est sensiblement la même que dans le cas d'une société anonyme, à la différence près que les actionnaires sont connus. La création d'un capital (CHF 20'000) est possible, mais là encore, se pose la question de la garantie bancaire.

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> - Liberté d'attribution des marchés (gain de temps) (sauf si la commune ou des entités publiques sont majoritaires). - Possibilité d'impliquer les locataires, propriétaires, entreprises du secteur dans la SA. 	<ul style="list-style-type: none"> - Lourdeur du montage financier et du montage administratif. - Difficulté de trouver le financement initial pour l'établissement du projet. - Nécessité de trouver des garanties financières pour un emprunt bancaire (commune, canton). - Prix de l'énergie pouvant être renchéri par la nécessité de rémunérer l'actionariat.

Variante 6 – Création d'une société coopérative

Dans ce modèle, les acteurs urbains et les propriétaires se réunissent afin de fournir une prestation économique, principalement monétaire pour ses membres. Ces derniers bénéficient d'une certaine solidarité financière et décisionnelle pouvant générer un effet de levier important en matière de multiplication de surfaces photovoltaïques dans l'espace bâti.

Il existe déjà une longue tradition dans le solaire participatif en Suisse ; les premiers projets datant des années 1980. L'implantation typique concerne des coopératives d'énergie ou solaires. De telles coopératives réunissent leurs membres dans le but de promouvoir la construction et l'exploitation de centrales solaires et/ou hydrauliques de petite envergure. Le financement se fait par la vente des parts de la coopérative, complété éventuellement par d'autres types de financements (obligations, financements bancaires).

Puisqu'en Suisse, le potentiel solaire principal se trouve sur des bâtiments, ces coopératives cherchent à établir le contact avec les propriétaires de bâtiments pour parvenir à des accords afin de réaliser et exploiter des installations sur leurs biens.

Typiquement, une coopérative ne se limite pas à une seule installation, mais elle va, après un premier projet, en réaliser d'autres par la suite. Ceci est presque une obligation, car des économies d'échelle importantes sont réalisables dans la gestion d'une coopérative et dans l'exploitation d'installations photovoltaïques. Aussi, la réalisation d'une multitude de projets dans le temps permet de réinvestir les retours financiers des premières installations, qui, sinon, devraient être directement reversés aux membres. Ce qui n'est souvent pas souhaité par ces derniers. En plus, l'investissement dans un panier de plusieurs projets par une même coopérative permet de réduire les risques liés à la réalisation d'une seule installation.

En Suisse, c'est le code des obligations qui règle le cadre légal des coopératives. Une coopérative est une entité juridique indépendante, qui réunit ses membres dans un but économique commun. Différente d'une société anonyme, la gestion d'une coopérative est plus démocratique, car les voix ne sont pas liées à la hauteur de la participation. Le but d'une coopérative ne doit par ailleurs pas viser principalement un retour financier. Dans le cas des coopératives solaires, le but est la réalisation et l'exploitation de centrales solaires, et seulement accessoirement la rentabilité du capital investi par les membres. Selon l'expérience partagée par beaucoup de coopératives, l'intérêt de la population à financer des projets participatifs est grand : les expériences montrent que dès que des projets sont proposés, il est très facile de mobiliser leur financement. Il reste à voir si cela sera toujours les cas dans un environnement avec des taux d'intérêts qui montent.

En Suisse, il existe actuellement environ 120 coopératives de ce type. Elles sont répertoriées sur cette carte :

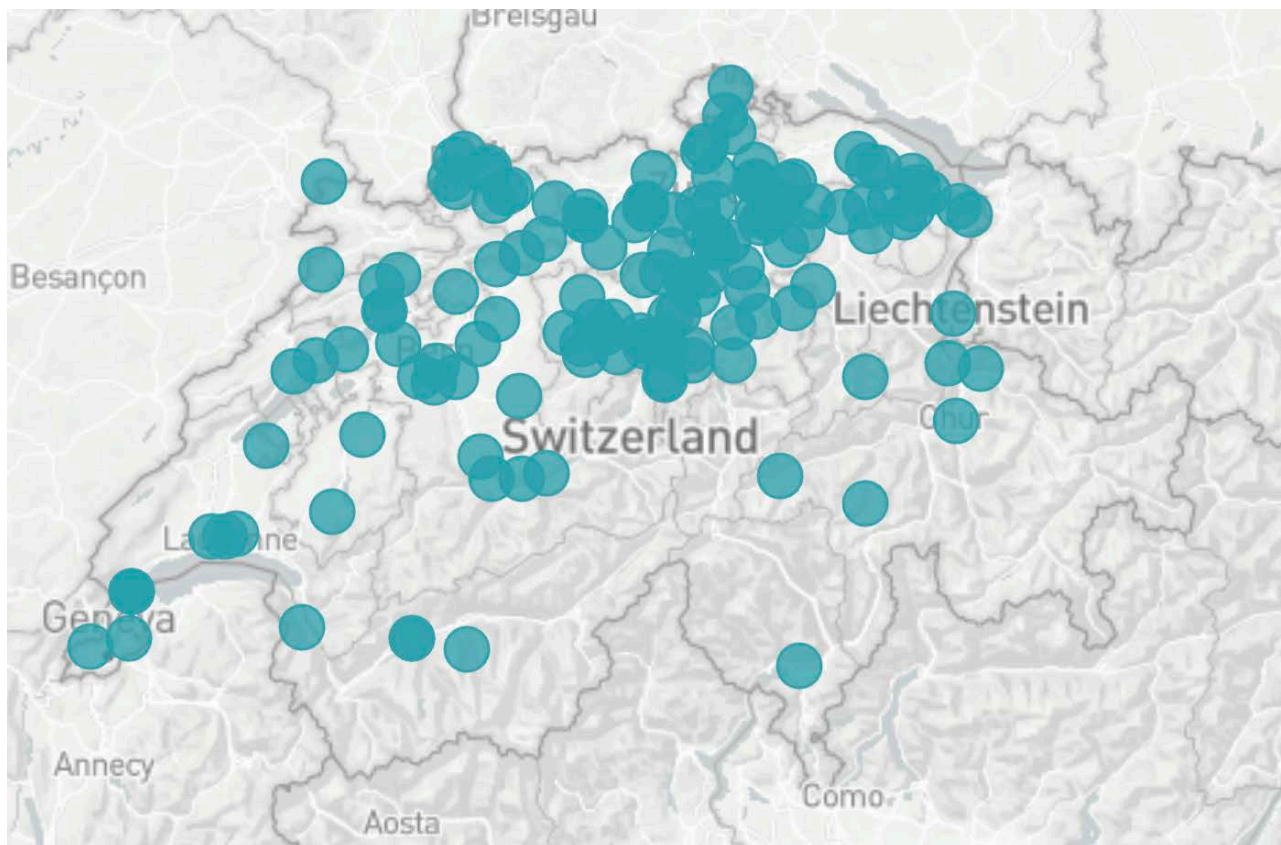


Figure 40 : Coopératives citoyennes suisses (<https://www.sses.ch/fr/solargenossenschaften>)

En Suisse, les coopératives solaires ont créé l'organisation faitière Association des Producteurs Indépendants VESE (www.vese.ch), qui fait elle-même partie de la Société Suisse pour l'Energie Solaire SSES. Cette organisation fédère depuis 2014 un bon nombre des coopératives solaires et d'autres producteurs indépendants. Elle organise le partage d'expérience, la formation et le lobbying politique, notamment pour promouvoir de meilleures conditions cadres pour les producteurs indépendants d'énergie renouvelable en Suisse.

Au niveau européen, 1250 coopératives d'énergie avec 1'250'000 membres sont organisées dans la fédération REScoop.eu (www.rescoop.eu).

Voir en annexe : Un cas d'école : La coopérative solaire Neuchâtel Coopsol

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> - Implication directe de toutes les bonnes volontés souhaitant être membres de la coopérative - Liberté d'attribution des marchés (gain de temps). - Contrôle des clients coopérateurs sur le fonctionnement administratif et financier au cours de l'exploitation. - Il existe des sociétés coopératives qui ont une grande expérience. 	<ul style="list-style-type: none"> - Lourdeur du montage financier et du montage administratif pour une coopérative à créer. - Difficulté de trouver des leaders motivés pour animer une nouvelle société coopérative (construction et exploitation). - Nécessité de trouver des garanties financières pour l'emprunt bancaire (commune, canton). - Nécessité d'un retour sur investissement.

Variante 7 – Leasing

Appliquée aux aspects énergétiques des bâtiments, cette variante est très récente. Elle a été créée en réponse aux difficultés de financement des institutions publiques.

Le projet est confié à une entreprise de financement (caisse de pension par exemple) qui fait réaliser le projet par une "entreprise totale".

L'investisseur reste l'exploitant de l'installation (commune, propriétaire) : il est alors lié contractuellement avec ses clients et gère l'installation : vente de l'énergie aux locataires, exploitation administrative, facturation, relevé des compteurs, maintenance technique, etc.

L'entreprise de financement souscrit un contrat avec l'investisseur (contrat de vente à terme, acte authentique). L'investisseur loue donc les installations techniques en leasing ; il exploite l'installation et en devient propriétaire pour une durée d'au minimum 10 ans renouvelable, à convenir contractuellement avec l'entreprise totale (durée d'amortissement et valeur résiduelle).

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> - Le financement est assuré par l'entreprise qui garantit contractuellement le coût des travaux. - Le projet n'est pas soumis à la loi sur les marchés publics (gain de temps). - L'investisseur gère son installation et en est propriétaire. - Le risque financier est assuré par un tiers. - Les éventuels locataires peuvent participer en consommant et rachetant le courant vert photovoltaïque produit sur le toit de l'immeuble qu'ils occupent. 	<ul style="list-style-type: none"> - Méthode de financement très récente, pas beaucoup de retour d'expérience. - Réalisation par étapes plus difficile. - Question du cautionnement de l'emprunt par la commune

10.3 Conditions cadres incitatives

Viabilité économique des projets

Les solutions décrites dans ces pages sont celles du tout ou rien mais elles peuvent tout à fait être combinées.

Pour chacun des investisseurs, une question primordiale est celle du retour sur investissement. La viabilité économique des projets influence le marché général de la réalisation de systèmes photovoltaïques en Suisse, indépendamment du type de financement, participatif ou non. En Suisse, on peut distinguer plusieurs phases, qui se superposent en partie :

Avant 2008 : phase pionnière, avec des projets photovoltaïques pas viables économiquement, donc à fonds perdus.

2008-2017 : Phase de la RPC (rétribution à prix coûtant), « l'âge d'or » des coopératives solaires. Une fois passé sur la liste d'attente, tout projet était en principe économiquement viable et sans risque. Souvent, des contrats de location de toiture étaient conclus par des coopératives, par exemple sur des toitures agricoles.

Depuis 2014 : Phase actuelle de la rétribution unique (RU) de la consommation propre : dans cette phase, les installations photovoltaïques sont soutenues financièrement par une subvention fédérale, la rétribution unique, qui couvre jusqu'à max. 30% des coûts d'investissement de l'installation. Malgré cela, seuls les projets avec un fort taux de consommation propre ont une rentabilité intéressante. Une simple location de toit n'est pas suffisante, il faut aussi négocier un contrat de reprise d'électricité à long terme avec les auto-consommateurs sur place, et ceci dans un environnement de baisse constante des prix de l'électricité. Et puisque les prix de reprise du surplus d'électricité injecté ne sont pas garantis à moyen et long terme, tout investissement reste plus ou moins à risque de découvert, en fonction du taux de consommation propre. Beaucoup de coopératives ont ainsi de la peine à réaliser de nouvelles installations.

Depuis l'été 2021 : Phase de la hausse du prix d'électricité et de la crise d'approvisionnement de la Suisse : depuis plus d'une année, le marché de l'électricité se trouve complètement chamboulé. Avec les prix qui ont explosé, beaucoup d'installations deviennent extrêmement rentables, au moins à court terme. Ceci résulte en une compétition entre différents acteurs (coopératives, GRD, entreprises de contracting commerciales, développeurs de projets et investisseurs professionnels) pour contracter les meilleures surfaces disponibles. Ce boom reste en partie spéculatif, car à moyen terme les prix pourraient à nouveau s'effondrer et résulter en des projets qui échoueraient financièrement.

En parallèle, les conditions cadres légales sont en train de changer rapidement en Suisse. Suite à l'urgence de la crise énergétique, différentes mesures sont mises en place pour favoriser la production d'électricité renouvelable supplémentaire en Suisse. Actuellement, il est déjà décidé que les Rétributions Uniques (RU) pour certains types de projets vont augmenter. Ceci améliorera donc leur rentabilité. Plus important encore, il est actuellement discuté au Parlement que les prix de reprise d'énergie issue des centrales photovoltaïques pourront être à nouveau garantis durant toute la durée de vie d'un projet à une hauteur garantissant leur amortissement tel que cela a été le cas sous le régime de la RPC. Dans ce cas, le risque financier de projets photovoltaïques en Suisse se réduirait grandement, et beaucoup de capitaux, qui fuyaient jusqu'à présent les risques liés au photovoltaïque, pourraient être investis dans des projets photovoltaïques.

Financièrement, au-delà des conditions cadres nationales, il peut y avoir des conditions cadres locales qui favorisent ou défavorisent la réalisation de projets solaires. On peut citer par exemple des aides financières communales directes aux projets (Ville de Neuchâtel, Ville d'Yverdon-les-Bains, Canton de Genève) et, indirectement, des prix de l'électricité élevés, qui rendent les projets plus rentables.

Conditions cadres favorisant l'implantation de projets solaires photovoltaïques

De façon générale, une ville ou une région peut en tout temps favoriser le photovoltaïque, participatif ou non, dans son périmètre par les mesures suivantes :

- Octroi d'un subside communal aux installations photovoltaïques
- Soutien de la Commune à la recherche de toitures adéquates
- Soutien de la Commune à la mise en place de coopératives solaires
- À travers leur société électrique/gestionnaire du réseau de distribution, augmentation des tarifs de reprise de l'électricité injectée dans le réseau et/ou les garantir sur la durée (Ville de Lausanne, Bâle Ville)
- Campagnes d'information et réalisations exemplaires.

11 Recommandations

Pour que la méthode soit comprise des habitants et que les bénéfices attendus à travers elle soient bien perçus, une information générale est nécessaire et la mise à disposition des utilisateurs de la documentation (exemples, explications, documents spécifiques, sites Internet, etc.) sont fortement recommandées. Pour faciliter et accélérer l'intégration du solaire sur les sites du Locle et de La Chaux-de-Fonds, selon les exigences établies dans cette étude pour l'ensemble des différentes zones, nous recommandons les actions ci-dessous.

11.1 Mise en œuvre de la stratégie

Pour une mise en œuvre efficace de la stratégie proposée ici, nous recommandons que les autorités communales, cantonales et fédérales mettent en place les actions suivantes.

- Promouvoir la délocalisation des installations solaires vers les zones les plus appropriées afin de permettre aux propriétaires de la zone de sensibilité haute de contribuer à la production d'énergie solaire en dépit des exigences fixées. Cela peut se faire en encourageant les propriétaires situés dans les zones à sensibilité haute à investir dans des coopératives solaires, où ils peuvent contribuer financièrement à des projets solaires collectifs. Cette approche permettrait de maximiser l'utilisation de l'énergie solaire tout en respectant les contraintes architecturales des zones protégées.

Dans ce sens, la commune devrait également exploiter les toitures de son parc immobilier et trouver des accords qui soient au bénéfice des citoyens et des entreprises locales.

- Rendre accessible l'ensemble des cartes mettant en évidence les différentes zones de sensibilité et visibilité à toutes et tous au travers du Géoportail.
- Mettre en place les lignes directrices proposées dans ce rapport pour l'intégration solaire dans les différentes zones selon le plan stratégique proposé ici. Ces lignes directrices encouragent l'installation de panneaux solaires sur les toits plats et inclinés dans les zones les plus propices au déploiement solaire.
- Définir des critères à l'octroi de subventions communales sur la base des résultats de cette étude.
- Elaborer une procédure simplifiée pour les installations respectant les lignes directrices de cette étude.
- Mener des campagnes de sensibilisation et d'information ciblant spécifiquement les zones où le déploiement solaire est favorisé. Ces campagnes mettraient en avant les avantages économiques, environnementaux et énergétiques de l'énergie solaire, ainsi que les incitations financières et les soutiens disponibles pour encourager l'installation de panneaux solaires. Mettre à disposition des subventions communales ou réfléchir à un mécanisme de soutien financier pour les installations PV dans les zones de sensibilité basse et moyenne.

11.2 Actions de communication

- Mise en place de séances d'information régulières adressées aux citoyens pour les tenir informés de la stratégie communale et des outils mise en place et à disposition du public.
- Mise à disposition d'outils et d'informations adaptés, simples à comprendre et utilisables par un public non-professionnel. Implémentation des informations sur le site web de la commune, par une conception et des contenus modernes et attractifs.
- Réalisation de deux projets phares, un dans chaque ville. En effet, certains bâtiments emblématiques pourraient s'avérer porteurs, tant en termes de production photovoltaïque que de message et valeurs à transmettre dans le cadre du plan stratégique solaire. Ces sites et



les projets phares qui pourraient y voir le jour permettraient de faire de la région un pôle d'innovation unique en matière d'intégration photovoltaïque. Toiture plate, façade de bâtiments ou murs extérieurs sont des surfaces inspirantes.

Des projets dont la dimension sociale, artistique et participative permettrait d'amener les citoyens et acteurs des deux villes à s'impliquer ensemble pour donner naissance au paradigme énergétique et architectural souhaité. En tant que démarches artistiques menées à l'échelle de la ville, ces projets ont pour but de constituer un trait d'union fort et fédérateur entre l'héritage historique que constitue le patrimoine bâti, les autorités des villes et du canton, et les directives émises à l'échelle fédérale.

12 Bibliographie

BARRELET, Jean-Marc, Histoire du canton de Neuchâtel : La création d'une république : De la Révolution de 1848 à nos jours, Éditions Alphil-Presses universitaires suisses, Neuchâtel, 2011.

BARRELET, Jean-Marc : « Locle, Le », in: Dictionnaire historique de la Suisse (DHS), version du 12.08.2021. Online : <https://hls-dhs-dss.ch/fr/articles/007627/2021-08-12/>, consulté le 22.05.2022.

BOLLE, Arnold, Le pays de Neuchâtel : Vie civique et politique, Collection publiée à l'occasion du centenaire de la République, Neuchâtel, 1948.

BOILLAT, Johann, Les véritables maîtres du temps : le cartel horloger suisse (1919-1941), Éditions Alphil – Presses universitaires suisses, Neuchâtel, 2013.

BOILLAT, Johann, Une ligne à travers les Montagnes. La première compagnie de chemin de fer du Locle à Neuchâtel : le Jura Industriel (1857-1865), Éditions Alphil – Presses universitaires suisses, Neuchâtel, 2007.

BORY, Jean-René, Le Locle fête ses 825 ans, La Chaux-de-Fonds, ...

BUJARD, Jacques, MOREROD, Jean-Daniel, OGUEY, Grégoire, DE REYNIER, Christian, Histoire du canton de Neuchâtel : aux origines médiévales d'un territoire, Tome 1, Éditions Alphil – Presses universitaires suisses, 2014.

CALAME, Caroline, Et tout près s'ouvre l'abîme... voyageurs au Locle et aux Moulins souterrains (1770-1830), publié par Moulins souterrains, Le Locle, 2003.

CALAME, Caroline, Feu et flammes dans nos villages, Nouvelle revue neuchâteloise, été 2014.
CLERC, François, Le Pays de Neuchâtel : Justice pénale et civile, Collection publiée à l'occasion du centenaire de la République, Neuchâtel, 1948.

COURVOISIER, Jean, Panorama de l'Histoire neuchâteloise, Éditions de la Baconnière, 1963. DE PIERI, Filippo & GRAEUER BIDEAU, Florence (dir.), Porter le Temps : Mémoires urbaines d'un site horloger, MétisPresses, Lavis (Italie), 2021.

DHS, Dictionnaire historique de la Suisse.

DONZE, Pierre-Yves, Histoire de l'industrie horlogère suisse : De Jacques David à Nicolas Hayek (1850-2000), Éditions Alphil – Presses universitaires suisses, Neuchâtel, 2009.

EGLOFF, Michel & Co, Histoire du Pays de Neuchâtel : de la Préhistoire au Moyen Age, Tome 1, Éditions Gilles Attinger, Hauterive, 1989.

FAESSLER, François, Histoire de la Ville du Locle : des origines à la fin du XIX^{ème} siècle, Edition de la Baconnière, Neuchâtel, 1960.

FELBER, René & Co, Le Locle : entre tradition et renouveau, Éditions d'en Haut, La Chaux-de-Fonds, 1994.

GARUFO, Francesco, L'emploi du temps. L'industrie horlogère suisse et l'immigration (1930- 1980), Antipodes, Lausanne, 2015.

HAUSER, Andreas & BARBEY, Gilles (Société d'histoire de l'Art en Suisse), « Le Locle ». In Inventaire Suisse d'Architecture 1850-1920 (INSA), Zürich, 1991.

HEIM, Jérôme, L'Hôtel des Postes de la Ville du Locle : histoire d'un lieu de transmission, Nouvelle Revue neuchâteloise, n° 94, 2007.

HENRY, Philippe, Histoire du canton de Neuchâtel : le temps de la monarchie. Politique, religion et société de la réforme à la révolution de 1848, Tome 2, Éditions Alphil – Presse universitaire suisse, Neuchâtel, 2011.

JACCARD, Auguste, Le Locle : son histoire et ses institutions, Edition Attinger frères, Neuchâtel, 1892.

JELMINI, Jean-Pierre, Canton de Neuchâtel, 1814-2014 : deux siècles en Suisse, Éditions Belvédère, La Chaux-de-Fonds, 2014.

JEANNERET, Jean-Daniel (dir.), La Chaux-de-Fonds / Le Locle, urbanisme horloger, G d'Encre, Le Locle, 2009.

OGUEY, Grégoire et RODESCHINI, Christine (dir.), Gouverner à distance : Berlin <-> Neuchâtel, Archives de l'État de Neuchâtel – Université de Neuchâtel, Neuchâtel, 2013.

ROSSI, Bruno, Le Quartier Neuf ou du Progrès, Service de l'urbanisme – Travaux publics, Le Locle, 1996.

SCHURCH, Charles, Travail et prévoyance sociale, Collection publiée à l'occasion du centenaire de la République, Neuchâtel, 1948.

TERRIER, Philippe, Le pays de Neuchâtel vu par les écrivains de l'extérieur : du XVIIIe à l'aube du XXIe siècle, Attinger, Hauterive, 2017.

TISSOT, Laurent, PERRET, Thomas, BEYNER, André, DEBELY, Pierre et JEANNERET, François, Microtechniques et mutations horlogères. Clairvoyance et ténacité dans l'arc jurassien (Cahiers de l'Institut neuchâtelois, 28), Éditions Gilles Attinger, Neuchâtel, 2000.

MUNARI PROBST, M. C.; ROECKER, C. (editors) "Solar energy systems in architecture - integration criteria and guidelines", Deliverable T.41.A.2 of IEA SHC 41 Solar energy and Architecture, September 2012.

13 Annexes

13.1 Un cas d'école : La coopérative solaire Neuchâtel Coopsol

Coopsol est un exemple typique d'une coopérative solaire de moyenne taille avec une vocation régionale.

La coopérative a été initiée par quelques personnes issues de la SSES-Neuchâtel et Habitat-Durable Neuchâtel. Ces personnes ont cherché en 2015 le contact avec la Ville de Neuchâtel dans le but de réaliser une première installation photovoltaïque participative en ville de Neuchâtel. Cette initiative a été bien accueillie par le Conseil communal, qui y a vu un intérêt politique évident de pouvoir donner aux locataires la possibilité de participer à la transition énergétique (à remarquer qu'un soutien généreux en forme de subside communal pour l'installation de panneaux PV a été déjà mis en place pour les propriétaires).

Assez rapidement, un site intéressant a pu être trouvé en forme du toit du collège du Crêt-du-Chêne, avec un toit en bon état d'une surface de 900 m². Parallèlement, un projet de convention entre la Ville de Neuchâtel, Viteos, et la future coopérative a été rédigé.

Vu qu'un projet paraissait possible et qu'une convention avec la ville a été négociée, la coopérative a été fondée le 20 juin 2016 par 7 membres initiaux, qui ont chacun versé une part de CHF 500 de capital social. Ce même groupe de personnes a également constitué en son sein le conseil d'administration de la coopérative. Ensuite, avec un fort soutien par la Ville de Neuchâtel, la promotion de la souscription des parts a été faite. Cette souscription a trouvé un succès immédiat, et en quelques semaines le montant nécessaire de CHF 150'000 a été souscrit par 100 participants qui avaient chacun souscrit entre CHF 500 (1 part) et CHF 10'000 (20 parts), avec une moyenne de 3 parts par participant. Une fois l'enveloppe financière assurée, les souscripteurs ont été priés de faire leur versement.

Une fois le montant effectivement réuni sur le compte de la coopérative, le conseil d'administration a passé commande pour la réalisation du projet. Il s'agissait d'une installation de 100 kW avec 340 panneaux et une production annuelle de 100'000 kWh, correspondant à la consommation électrique d'une trentaine de ménages. Point important, le collège ayant une grande consommation électrique, un taux d'autoconsommation élevé permettait au conseil d'administration d'affirmer que l'installation pourrait être amortie sans risque.

Quelques semaines seulement après l'inauguration de la centrale, Coopsol était contactée par un groupe de conseillers généraux de Corcelles-Cormondrèche, qui cherchait à réaliser également une installation photovoltaïque participative sur le toit de la future halle de gym « Juliette ». Après quelques discussions, il a semblé plus judicieux de réunir les forces et de développer le projet de Corcelles-Cormondrèche en tant que deuxième projet de Coopsol Neuchâtel.

Ainsi, un deuxième projet de 120 kW a pu être réalisé en 2018. Avec 92 nouveaux membres, le nombre de membres a été porté à 192, et le montant total du capital coopératif a été augmenté de CHF 175'000 à CHF 325'000.

Par la suite, un troisième projet a vu le jour à Couvet au Val-de-Travers. Dans ce cas, la coopérative était en concurrence avec des propositions du Groupe E pour réaliser le même projet. Le projet a finalement été attribué à Coopsol. Ainsi, durant l'été 2020, un très grand projet de 400 kW a pu être mis en service. Le nombre de membres a été porté à 313 et le capital social à CHF 672'500 ; de nouveau avec une souscription principalement par des habitant-e-s du vallon.

En 2022, un 4^{ème} projet de 100 kW a été mis en service à Fontainemelon. Dans ce cas, l'initiative venait du Conseil général du Val-de-Ruz, qui avait accepté une motion obligeant la commune à



proposer du solaire participatif à ses habitants. À la suite de cette motion, le Conseil communal a cherché le contact avec Coopsol dans le but de réaliser ensemble un projet sur la commune.

Actuellement, Coopsol cherche à continuer à se développer. Différents challenges sont à relever pour continuer sur le chemin de la croissance :

- Jusque à présent, un très grand travail a été fourni de façon bénévole par les membres de conseil d'administration. Vu l'ampleur des opérations, qui augmente avec chaque nouvelle installation, ce modèle atteint ses limites, et la coopérative doit chercher à professionnaliser son fonctionnement, tout en ayant des ressources relativement limitées.
- L'environnement du marché des installations photovoltaïques évolue rapidement et nécessite une adaptation permanente. Déjà depuis un moment, il existe une compétition importante pour tous les objets ayant un potentiel d'autoconsommation significatif. Avec la crise énergétique de 2022, cette concurrence s'est encore accentuée, et même pour des objets avec une autoconsommation moindre la demande spéculative reste importante. La coopérative risque alors de passer du temps à développer des projets qui seront finalement réalisés par des tiers.

Plus d'informations sur : www.coopsol.ch

14 Table des figures

Figure 1 : Périmètre du bien du patrimoine mondial de La Chaux de Fonds (au centre) et de sa zone tampon.....	16
Figure 2 : Périmètre du bien du patrimoine mondial du Locle (au centre) et de sa zone tampon ...	17
Figure 3 : Hôtel de ville au Locle et le Grand Temple de la Chaux-de-Fonds ©Andreas Faessler, ©Christian Galley.....	24
Figure 4 : Criticité architecturale en fonction de la visibilité du système et de la sensibilité du contexte urbain (Crédits EPFL/LESO-PB).....	26
Figure 5 : Impact de la topographie du lieu sur la visibilité (Crédits EPFL/LESO-PB).....	26
Figure 6 : Impact de la topographie du lieu sur la visibilité lointaine des installations (Crédits EPFL/LESO-PB).....	27
Figure 7 : Différents degrés de sensibilité de contextes urbains (Crédits EPFL/LESO-PB).....	28
Figure 8 : Évaluation en trois étapes de la qualité architecturale (Crédits EPFL/LESO-PB).....	29
Figure 9 : Exemples de résultats d'évaluation (Crédits EPFL/LESO-PB).....	30
Figure 10 : Écran principal du logiciel LESO-QSV GRID.....	30
Figure 11 : Évaluation effectuée sur l'échelle continue utilisée dans les cas d'études (Crédits EPFL/LESO-PB).....	30
Figure 12 : Exemples de différents degrés de sévérité d'une grille d'acceptabilité (de gauche à droite : basse, moyenne, haute) pour un contexte donné (Crédits EPFL/LESO-PB).....	31
Figure 13 : Exemple d'une installation BAPV à Milvignes dans le Canton de Neuchâtel (source : Eligreen, Bevaix).....	32
Figure 14 : Exemples d'installation BIPV en toiture, en façade et comme système d'ombrage/brise-soleil.....	32
Figure 15 : Exemples d'installations solaires typiques en toitures plates.....	34
Figure 16 : Exemples d'installations solaires de modules noirs apposés sur toitures inclinées.....	35
Figure 17 : Exemple d'installation solaires avec modules colorés de format standard permettant une meilleure intégration visuelle dans la toiture existante ou une limitation de l'impact visuel en version apposée (Source : Luigi Pozzoli, Bisol spectrum).....	35
Figure 18 : Exemples d'installations solaires intégrées en toiture avec des modules noirs de formats standards (source : Eternit, Ernst Schweizer AG).....	36
Figure 19 : Exemple d'installation solaire intégrée avec modules colorés de format adapté à la trame de la toiture original (source : Solaxess, LMNT).....	37
Figure 20 : Exemples d'installations solaires intégrées de modules colorés de format adapté à la trame de la toiture original (source : freesuns). Ces photographies sont utilisées à titre illustratif uniquement et ne représentent aucunement des recommandations,.....	38
Figure 21 : Zones industrielles à La Chaux-de-Fonds et au Locle © DR, © Christian Galley.....	39
Figure 22 : Zones typiques de villas de sensibilités moyennes dans les villes de la Chaux-de-Fonds (gauche) et du Locle (droite) © GoogleEarth.....	40
Figure 23 : Zones typiques de sensibilité haute des villes de La Chaux-de-Fonds (gauche, © Yoan Vuillemez) et du Locle (droite, © rts.ch).....	41
Figure 24 : Zones de sensibilités et périmètre ISOS A, Ville du Locle.....	42
Figure 25 : Zones de sensibilités et périmètre ISOS A, Ville de La Chaux-de-Fonds.....	43
Figure 26 : Vue emblématique lointaine du quartier en damier de la Chaux-de-Fonds © Yoan Vuillemez.....	44
Figure 27 : Vue lointaine de la ville du Locle © Aline Henchoz, whc.unesco.org.....	45
Figure 28 : Angles de vue de la rue sur la toiture et les panneaux solaires.....	46
Figure 29 : Simulation de l'impact visuel des distances d'observation pour un bâtiment de 3 étages avec un toit en pente (Crédits EPFL/LESO-PB).....	47
Figure 30 : illustration de l'outil Excel d'évaluation de la visibilité pour les toitures inclinées.....	48
Figure 31 : Carte de visibilité, Ville du Locle.....	49
Figure 32 : Carte de visibilité, Ville de La Chaux-de-Fonds.....	50
Figure 33 : Grille d'acceptabilité toitures plates pour les villes du Locle et de La Chaux-de-Fonds.....	54



Figure 34 : Grille d'acceptabilité toitures inclinées pour les villes du Locle et de La Chaux-de-Fonds56

Figure 35 : Exemples d'une nouvelle construction et de rénovations sur lesquelles le solaire a été intégré sur les façades (Nouvelle construction à Buochs, Le Silo Bleu de Renens, le Mail, Viriden Zurich).....57

Figure 36 : Exemples d'installations solaires intégrées de modules colorés de format adapté à la trame de la toiture original58

Figure 37 : Exemples de mobiliers urbains permettant de porter une information didactique ou artistique comme le propose l'association Compáz.....58

Figure 38 : Potentiel solaire de la Ville du Locle selon toitsolaire.ch60

Figure 39 : Potentiel solaire de la Ville de La Chaux-de-Fonds selon toitsolaire.ch61

Figure 40 : Coopératives citoyennes suisses (<https://www.sses.ch/fr/solargenossenschaften>).....69