

Ville de Bourg-la-Reine
Projet de construction du nouveau CAEL

Notice Thermique

MAITRE D'OUVRAGE : Ville de Bourg-la-Reine
6 boulevard Carnot
92340 - Bourg-la-Reine

ARCHITECTE : Dominique Coulon & Associés
13 rue de la Tour des Pêcheurs
67000 - Strasbourg

REALISEE PAR : **solaresbauen SARL**
1 boulevard de Nancy
67000 - Strasbourg
Tél : 03 88 30 97 74
Fax : 03 59 08 75 37
Mail : info@solares-bauen.fr

REV	DATE	DESCRIPTION	REDACTION/VERIFICATION		N° AFFAIRE : 16-037
0	02/03/17	Notice TH	HM/ER	AZ	
1					PHASE APD
2					

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION.....	3
1.1	CONTEXTE ET CONTENU DE L'ETUDE.....	3
2	DESCRIPTION DU BATIMENT ETUDIE.....	3
2.1	SITUATION GÉOGRAPHIQUE.....	3
2.2	NIVEAU DE PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE.....	3
2.3	ENVELOPPE THERMIQUE.....	3
2.4	EQUIPEMENTS TECHNIQUES.....	6
3	CALCUL REGLEMENTAIRE RT2012.....	8
3.1	HYPOTHESES DU CALCUL.....	8
3.2	RESULTATS RT2012.....	8
4	ETUDE D'APPROVISIONNEMENT EN ENERGIE.....	9
4.1	OBJET.....	9
4.2	SYSTEME PRESENTI ET VARIANTES.....	9
4.3	COUTS D'EXPLOITATION ET TEMPS DE RETOUR.....	13
4.4	CONCLUSION DE L'ETUDE.....	15
5	ETUDE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE.....	16
5.1	OBJET.....	16
5.2	DESCRIPTION DE L'INSTALLATION.....	16
5.3	PRODUCTION ÉLECTRIQUE PHOTOVOLTAÏQUE.....	18
5.4	CONCLUSION DE L'ETUDE.....	23
	ANNEXE 1: GLOSSAIRE.....	24
	ANNEXE 2: LOCALISATION DES PAROIS.....	25
	ANNEXE 3: NOTICE RT2012.....	29

1 INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE ET CONTENU DE L'ETUDE

Cette étude a pour objectifs :

- de présenter les résultats de consommations réglementaires RT2012,
- de présenter les résultats d'une étude d'approvisionnement en énergie incluant l'étude de plusieurs variantes de systèmes de production de chaleur,
- d'analyser la rentabilité d'une installation de panneaux photovoltaïques.

2 DESCRIPTION DU BATIMENT ETUDIE

2.1 SITUATION GÉOGRAPHIQUE

Le projet est situé à Bourg-la-Reine, dans le département des Hauts de Seine (92). Ce département se trouve en zone H1a, avec une température de base de -5°C.

2.2 NIVEAU DE PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE

Le bâtiment est soumis à la Réglementation Thermique 2012 (RT2012).

2.3 ENVELOPPE THERMIQUE

2.3.1 PAROIS OPAQUES

L'enveloppe thermique présentée comprend l'ensemble du bâtiment, sous-sol compris, mais hors parking.

Le choix s'est porté sur une structure béton isolée par l'extérieur. Cette solution permet de bénéficier d'une inertie thermique qui profite au confort hivernal et estival et permet également de réduire les consommations de chauffage par la réduction des ponts thermiques.

Les caractéristiques des différentes parois sont récapitulées dans le tableau ci-dessous. En annexe 2, des plans de chaque niveau localisent ces parois.

Élément de construction	Composition	Coefficient U	R isolant
		[W/(m²K)]	[m²K/W]
Mur enterré	Béton - $\lambda=2,1$ W/(m.K) - 200 mm	0,18	
	TH38 - $\lambda=0,038$ W/(m.K) - 200 mm		5,3
Mur sur parking ITI	Isolant - $\lambda=0,04$ W/(m.K) - 100 mm	0,35	2,5
	Béton - $\lambda=2,1$ W/(m.K) - 200 mm		
Mur extérieur ITE enduit	Béton - $\lambda=2,1$ W/(m.K) - 200 mm	0,18	
	Isolant - $\lambda=0,038$ W/(m.K) - 200 mm		5,3
Plancher bas sur terre-plein	Béton - $\lambda=2,1$ W/(m.K) - 200 mm	0,19	
	Isolant - $\lambda=0,03$ W/(m.K) - 150 mm		5,0
Plancher bas sur parking	Béton - $\lambda=2,1$ W/(m.K) - 200 mm	0,18	
	Isolant - $\lambda=0,04$ W/(m.K) - 200 mm		5,0
Plancher haut sur extérieur	Béton - $\lambda=2,1$ W/(m.K) - 200 mm	0,12	
	Isolant - $\lambda=0,024$ W/(m.K) - 200 mm		8,3
Mur extérieur ITE bardage pierre	Béton - $\lambda=2,1$ W/(m.K) - 200 mm	0,34	
	Isolant - $\lambda=0,035$ W/(m.K) - 200 mm		5,7
Plancher bas sur extérieur	Béton - $\lambda=2,1$ W/(m.K) - 200 mm	0,18	
	Isolant - $\lambda=0,038$ W/(m.K) - 200 mm		5,3
Mur sur parking ITE	Béton - $\lambda=2,1$ W/(m.K) - 200 mm	0,18	
	TH38 - $\lambda=0,038$ W/(m.K) - 200 mm		5,3
Toiture	Béton - $\lambda=2,1$ W/(m.K) - 200 mm	0,12	
	Isolant - $\lambda=0,024$ W/(m.K) - 200 mm		8,3
Mur extérieur mitoyen	Isolant - $\lambda=0,038$ W/(m.K) - 200 mm	0,12	5,3
	Béton - $\lambda=2,1$ W/(m.K) - 200 mm		
Mur sur parking non isolé	Isolant - $\lambda=0,038$ W/(m.K) - 100 mm		2,6
	Béton - $\lambda=2,1$ W/(m.K) - 200 mm	2,82	

A noter que le mur extérieur ITE bardage pierre intègre un pont thermique de fixation du bardage, c'est pourquoi la valeur du coefficient de transmission thermique U_p de cette paroi est élevée.

2.3.2 MENUISERIES EXTÉRIEURES

Les vitrages sont de type double vitrage à basse émissivité avec lame d'argon. Leurs caractéristiques sont : $U_g = 1,0$ W/(m².K). Les menuiseries sont en métal et présentent un U_f de l'ordre de 1,8 W/(m².K). L'ensemble des châssis menuisés présentera ainsi un coefficient moyen U_w de l'ordre de 1,4 W/(m².K).

Ces baies vitrées concourent à une enveloppe performante et à un bâtiment peu consommateur en énergie, via une bonne isolation et l'optimisation des apports solaires pour limiter les besoins de chaleur, mais aussi maximiser l'accès à la lumière naturelle. En cela, elles assurent également un bon confort visuel des usagers du bâtiment.

Les portes présenteront quant à elles un U_d de 1,5 W/(m².K), tandis que les lanterneaux afficheront un coefficient inférieur à 2,0 W/(m².K).

2.3.3 PONTS THERMIQUES

Les valeurs des ponts thermiques sont issues des règles TH-U :

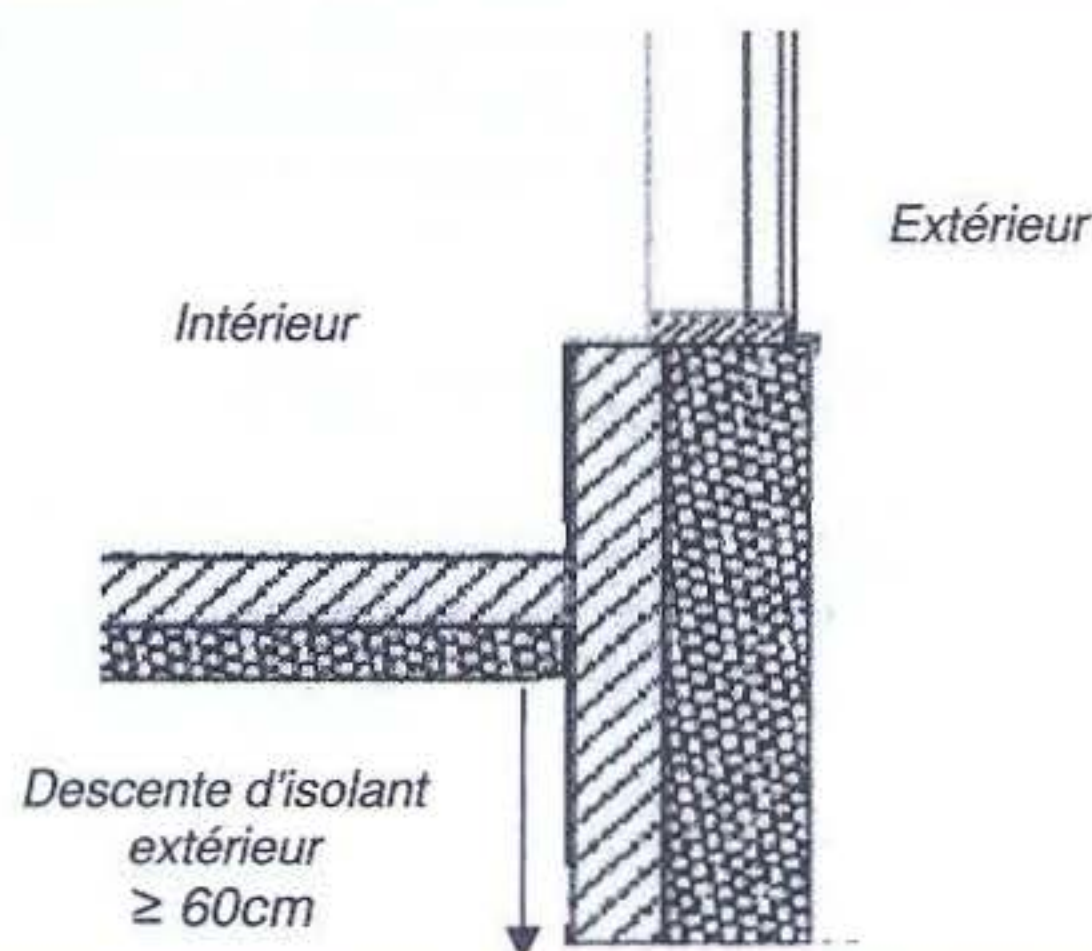
Désignation	Valeur Ψ W/m.K
PT1 - Dalle Inférieure sur TP / Refend	0,87
PT2 - ME/PB sur TP	0,28
PT3 - ASV prolongé Menterré/Mint sur park	0,70
PT4 - ASV Mur enterré	0,11
PT5 - Mur int parking / refend	0,99
PT6 - ASV prolongé Menterré/Mext	0,70
PT7 - ARH inf	0,03
PT8 - ASH sup	0,15
PT9 - ME ITE/PI	0,07
PT10 - PB sur parking / ME	0,66
PT11 - ASV ITE	0,11
PT12 - ME ITE / Refend	0,07
PT13 - ARV ITE	0,03
PT14 - ASV ITI/ITE	0,80
PT15 - ME ITI / Refend	0,99
PT16 - ME ITI / PI	0,11
PT17 - Acrotère ITE	0,30
PT18 - Acrotère ITI	0,45
PT19 - Dalle supérieure / Refend	0,02
PT20 - Mur enterré / Refend	0,07

L'isolation par l'extérieur permet de réduire au minimum les ponts thermiques courants (jonctions des dalles intermédiaires et de refends avec les murs extérieurs). Les quelques jonctions délicates restantes devront être traitées de façon à minimiser les déperditions linéiques.

PT2 : Jonction plancher bas / mur extérieur :

La longrine occasionne une rupture d'isolant. Pour minimiser les déperditions, il faudra faire descendre l'isolant de façade en-dessous du niveau de l'isolant sous dallage (au moins 60 cm).

Ainsi on obtient un pont thermique périmétrique de 0,28 W/(m.K)



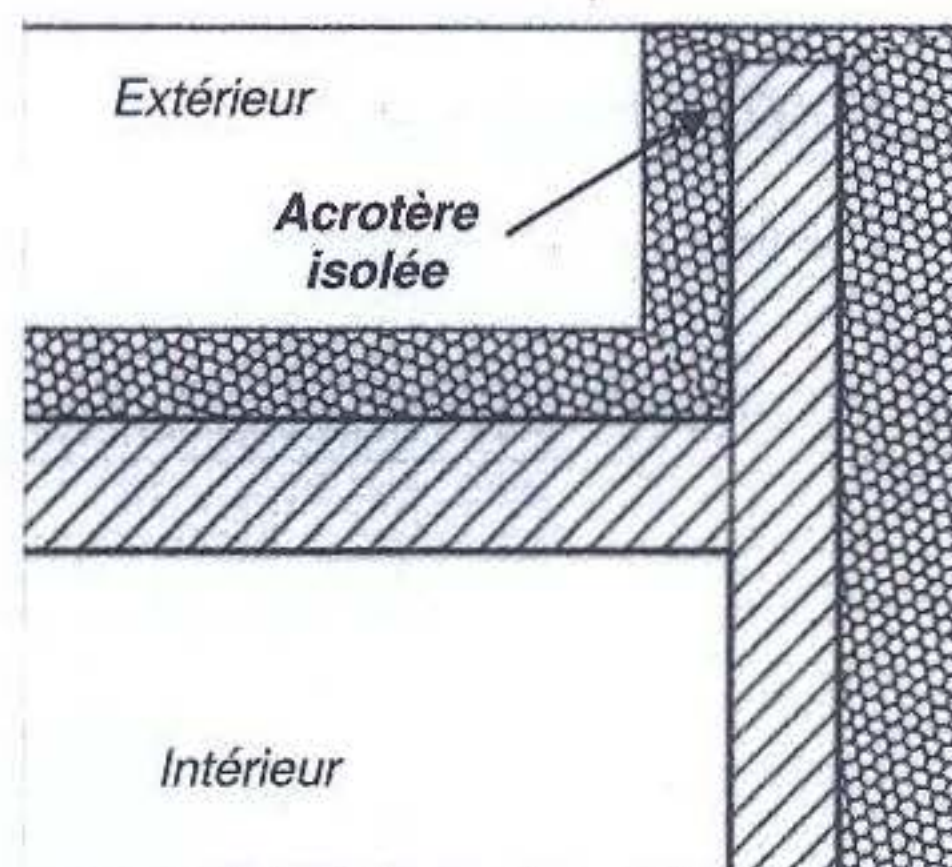
PT17 : Jonction toiture / mur extérieur :

Pour limiter les déperditions au niveau de cette jonction, un retour d'isolant sera effectué sur toutes les faces de l'acrotère.

L'épaisseur minimale de l'isolation latérale et supérieure de l'acrotère est de 10cm.

Le pont thermique engendré est le suivant : (mètres intérieurs) :

$$\Psi_{\text{acrotères}} = 0,30 \text{ W/(m.K)}$$



2.3.4 PERMEABILITE A L'AIR

L'objectif d'étanchéité à l'air est de $0,6 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ sous 4 Pascals pour l'ensemble du bâtiment.

2.4 EQUIPEMENTS TECHNIQUES

Les installations de chauffage et de ventilation sont détaillées dans la notice fluides, et celles d'éclairage dans la notice électricité. Les descriptions ci-après synthétisent les hypothèses considérées dans le calcul réglementaire.

2.4.1 CHAUFFAGE

La production de chaleur est réalisée par l'intermédiaire d'une chaudière gaz à condensation.

L'émission est réalisée par :

- des panneaux rayonnants pour la salle polyvalente,
- des convecteurs caniveaux pour les salles de danse et le hall,
- des convecteurs encastrés en mobilier ou des radiateurs décoratifs avec thermostats d'ambiance pour les autres locaux

2.4.2 EAU CHAUDE SANITAIRE

La production d'eau chaude sanitaire est réalisée par des ballons électriques situés au plus près des points de puisage.

2.4.3 VENTILATION

La ventilation du bâtiment est réalisée au moyen d'installations double-flux avec récupérateur d'énergie présentant un rendement supérieur à 80%. La ventilation double flux récupère la chaleur de l'air vicié extrait du bâtiment et l'utilise pour réchauffer l'air neuf venant de l'extérieur. Un ventilateur pulse cet air neuf préchauffé dans les pièces par le biais de bouches d'insufflation.

Les ventilateurs de chaque centrale auront une consommation de $0,5 \text{ Wh/m}^3$ (soufflage et reprise) au maximum pour limiter la consommation des auxiliaires. Des consommations aussi faibles ne sont possibles qu'à condition de garantir un entretien correct des différents éléments de la centrale – en priorité les filtres – et des réseaux aéraulique.

2.4.4 ECLAIRAGE

La puissance d'éclairage et son mode de régulation est fonction des zones traitées :

- Les salles de classe présentent une puissance d'éclairage de 10 W/m^2 avec gradation et interrupteur manuel et extinction automatique
- La salle polyvalente présente une puissance d'éclairage de 10 W/m^2 avec interrupteur manuel et extinction automatique
- Les bureaux présentent une puissance d'éclairage de 10 W/m^2 avec gradation et interrupteur manuel et extinction automatique
- Les sanitaires présentent une puissance d'éclairage de 10 W/m^2 avec détection de présence
- Les circulations présentent une puissance d'éclairage de 10 W/m^2 avec allumage et extinction automatique en fonction de seuil et détection de présence

Ces puissances d'éclairage et mode d'allumage ont été fixées sur la base de notre expérience et des propositions de la RT2012. Elles seront affinées suite aux calculs d'éclairage de l'électricien.

2.4.5 PHOTOVOLTAÏQUE

Il est prévu l'étude d'un système de panneaux solaires photovoltaïque posés en toiture pour proposer une production d'énergies renouvelables locale intégrée au projet. Cette étude est détaillée dans le chapitre 4 du présent rapport.

NOTA : Afin de proposer un bâtiment vertueux, cette installation n'est, en base, pas intégrée aux calculs RT.

2.4.3 VENTILATION

La ventilation du bâtiment est réalisée au moyen d'installations double-flux avec récupérateur d'énergie présentant un rendement supérieur à 80%. La ventilation double flux récupère la chaleur de l'air vicié extrait du bâtiment et l'utilise pour réchauffer l'air neuf venant de l'extérieur. Un ventilateur pulse cet air neuf préchauffé dans les pièces par le biais de bouches d'insufflation.

Les ventilateurs de chaque centrale auront une consommation de $0,5 \text{ Wh/m}^3$ (soufflage et reprise) au maximum pour limiter la consommation des auxiliaires. Des consommations aussi faibles ne sont possibles qu'à condition de garantir un entretien correct des différents éléments de la centrale – en priorité les filtres – et des réseaux aéraulique.

2.4.4 ECLAIRAGE

La puissance d'éclairage et son mode de régulation est fonction des zones traitées :

- Les salles de classe présentent une puissance d'éclairage de 10 W/m^2 avec gradation et interrupteur manuel et extinction automatique
- La salle polyvalente présente une puissance d'éclairage de 10 W/m^2 avec interrupteur manuel et extinction automatique
- Les bureaux présentent une puissance d'éclairage de 10 W/m^2 avec gradation et interrupteur manuel et extinction automatique
- Les sanitaires présentent une puissance d'éclairage de 10 W/m^2 avec détection de présence
- Les circulations présentent une puissance d'éclairage de 10 W/m^2 avec allumage et extinction automatique en fonction de seuil et détection de présence

Ces puissances d'éclairage et mode d'allumage ont été fixées sur la base de notre expérience et des propositions de la RT2012. Elles seront affinées suite aux calculs d'éclairage de l'électricien.

2.4.5 PHOTOVOLTAÏQUE

Il est prévu l'étude d'un système de panneaux solaires photovoltaïque posés en toiture pour proposer une production d'énergies renouvelables locale intégrée au projet. Cette étude est détaillée dans le chapitre 4 du présent rapport.

NOTA : Afin de proposer un bâtiment vertueux, cette installation n'est, en base, pas intégrée aux calculs RT.

4 ETUDE D'APPROVISIONNEMENT EN ENERGIE

4.1 OBJET

L'étude de faisabilité des approvisionnements en énergie est définie par l'Arrêté du 18 décembre 2007. Elle permet de comparer le système de production de chaud pressenti avec d'autres systèmes appelés variantes. L'intérêt de cette étude est d'apporter des éléments quantitatifs sur le plan des consommations et du coût pour accompagner le maître d'ouvrage dans ses décisions.

Les hypothèses d'enveloppe thermique et d'équipements techniques sont celles définies aux chapitres 2.3 et 2.4.

Les différentes variantes pour la production de chaud seront comparées sur le plan des consommations réglementaires (RT2012) mais également de l'investissement et du coût d'exploitation afin d'estimer le niveau de rentabilité de chacune d'entre elles.

4.2 SYSTEME PRESSENTI ET VARIANTES

L'objet de l'étude est de comparer plusieurs systèmes de production afin d'évaluer leurs performances énergétiques et d'estimer leur viabilité économique.

4.2.1 ARRETE DU 18 DECEMBRE 2007

L'Article 2 de l'Arrêté du 18 décembre 2007 prévoit la comparaison de neuf systèmes différents :

- les systèmes solaires thermiques
- les systèmes solaires photovoltaïques
- les systèmes de chauffage au bois ou à biomasse
- les systèmes éoliens
- le raccordement à un réseau de chauffage ou de refroidissement commun à plusieurs bâtiments ou urbain
- les pompes à chaleur (PAC) géothermiques
- les pompes à chaleur (PAC) aérothermiques
- les chaudières à condensation
- les systèmes de production combinée de chaleur et d'électricité (cogénération)

4.2.2 VARIANTES ECARTEES

Les caractéristiques du projet nous ont conduits à éliminer certains systèmes :

- Le solaire thermique : les besoins en ECS sont faibles et aléatoires. Le risque de surchauffe et de détérioration rapide de l'installation solaire est dans ce cas très élevé
- Le solaire photovoltaïque : nécessite une surface en toiture ou au sol importante ; cette solution est étudiée de manière spécifique dans ce rapport et fait l'objet d'une analyse à part entière
- L'éolien : la ville de Bourg-la-Reine n'est pas située dans une Zone de Développement Eolien (ZDE). En effet, elle est située en zone défavorable à l'implantation d'éoliennes en raison de contraintes majeures (voir figure 1 ci-dessous).
- Les PAC aérothermiques sont peu performantes en comparaison aux PAC géothermiques. De plus, leur implantation sur la toiture génère de fortes nuisances peu compatibles avec l'environnement du bâtiment.
- La cogénération : les systèmes existants sont encore trop peu développés (coûteux et encombrants) pour que cette solution soit réellement envisageable ; de plus, l'intérêt de la cogénération est de produire de l'électricité en même temps que la chaleur : or en occupation, les besoins en électricité seront maximum alors que les besoins en chauffage seront minimum du fait des charges internes importantes. Une telle variante est donc incohérente par rapport à la destination même du bâtiment.

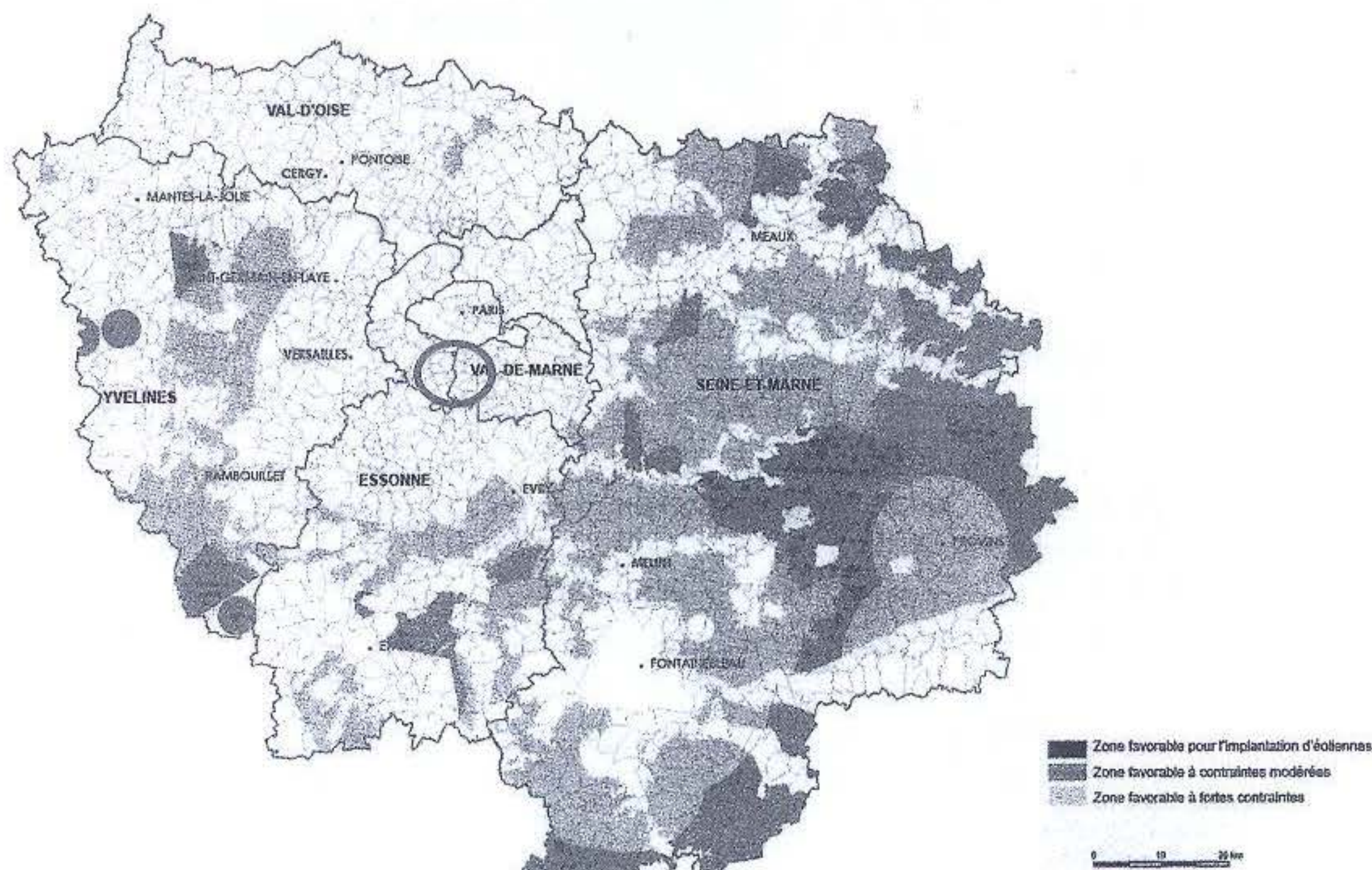


Figure 1 – Zones à potentiel éolien en Ile-de-France¹

Le cercle rouge représente l'emplacement de la commune de Bourg-la-Reine. Celle-ci est située dans la zone défavorable à l'implantation d'éoliennes.

¹ Source (rapport sur le potentiel éolien en île-de-France : http://www.srcae-idf.fr/IMG/pdf/Projet_SRE_-_partie_1_cle48a71c.pdf

4.2.3 VARIANTES RETENUES

Pour que la comparaison soit pertinente, nous conservons une enveloppe thermique et des émetteurs identiques pour toutes les variantes proposées :

- V0 : Chaudière gaz à condensation
- V1 : PAC gaz à absorption
- V2 : Chaudière biomasse avec appoint chaudière gaz à condensation
- V3 : PAC électrique sur nappe phréatique et appoint électrique

Le tableau ci-dessous récapitule les différentes variantes étudiées :

Variantes		Pressenti chaudière gaz à condensation V0	PAC gaz à absorption V1	Chaudière biomasse avec appoint chaudière gaz à condensation V2	PAC électrique sur nappe phréatique V3
Parois opaques	Plancher bas	Isolation en sous face du plancher bas sur parking par 20 cm d'isolant Isolation en sous face de plancher sur terre-plein par 15 cm d'isolant			
	Murs extérieurs	Isolation sous enduit par 20 cm de polystyrène blanc Isolation sous bardage par 20 cm de laine minérale			
	Toiture	Isolation sous étanchéité par 20 cm de polyuréthane			
Fenêtres	Vitrage	Double vitrage à isolation thermique renforcée ($U_g = 1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$)			
	Châssis	Châssis métallique ($U_f = 1,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$)			
	Mise en œuvre fenêtre	Au nu extérieur			
Portes	Isolation	$U_d \leq 1,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$			
Etanchéité à l'air	Niveau	$Q_4 = 0,6 \text{ m}^3/\text{m}^2$			
Ventilation	Type de ventilation	Double-flux avec récupération de chaleur			
	Ventilateurs	Basse consommation : $0,25 \text{ Wh/m}^3$ par ventilateur			
Chauffage	Mode de production	Chaudière gaz à condensation	PAC gaz à absorption	Chaudière biomasse avec appoint chaudière gaz à condensation	PAC électrique sur nappe phréatique
	Mode d'émission	Hall : plancher chauffant Salle polyvalente : panneaux rayonnants Salles de danse : convecteurs caniveaux Autres : radiateurs			
	Régulation	En fonction de la température ambiante			
	Isolation du circuit	Classe 3 en volume chauffé			
ECS	Mode de production	Ballons électriques			

Figure 2 – Tableau récapitulatif des variantes étudiées

4.2.4 RÉSULTATS RT2012

Consommations conventionnelles RT2012 kWhEP/m²SRT.an	Pressenti chaudière gaz à condensation V0	PAC gaz à absorption V1	Chaudière biomasse avec appoint chaudière gaz à condensation V2	PAC électrique sur nappe phréatique V3
Chauffage	13,1	11,7	15,2	22,2
Refroidissement	0,0	0,0	0,0	0,0
ECS	4,8	4,4	4,4	4,4
Eclairage	12,4	12,4	12,4	12,4
Auxiliaires de distribution	0,3	0,0	0,0	0,3
Auxiliaires de ventilation	10,6	10,6	10,6	10,6
Total Projet (Cep)	41,1	39,0	42,5	49,8
Seuil de conformité (CepMax)	60,5	60,5	60,5	60,5
Gain sur Cep Max	32%	36%	30%	18%

Figure 3 – Résultats RT2012

Le tableau ci-dessus représente les consommations en énergie primaire des 5 postes RT2012. Ce calcul est réalisé avec le logiciel PERRENOUD avec le moteur de calcul RT2012.

Consommations conventionnelles en énergie primaire - RT2012

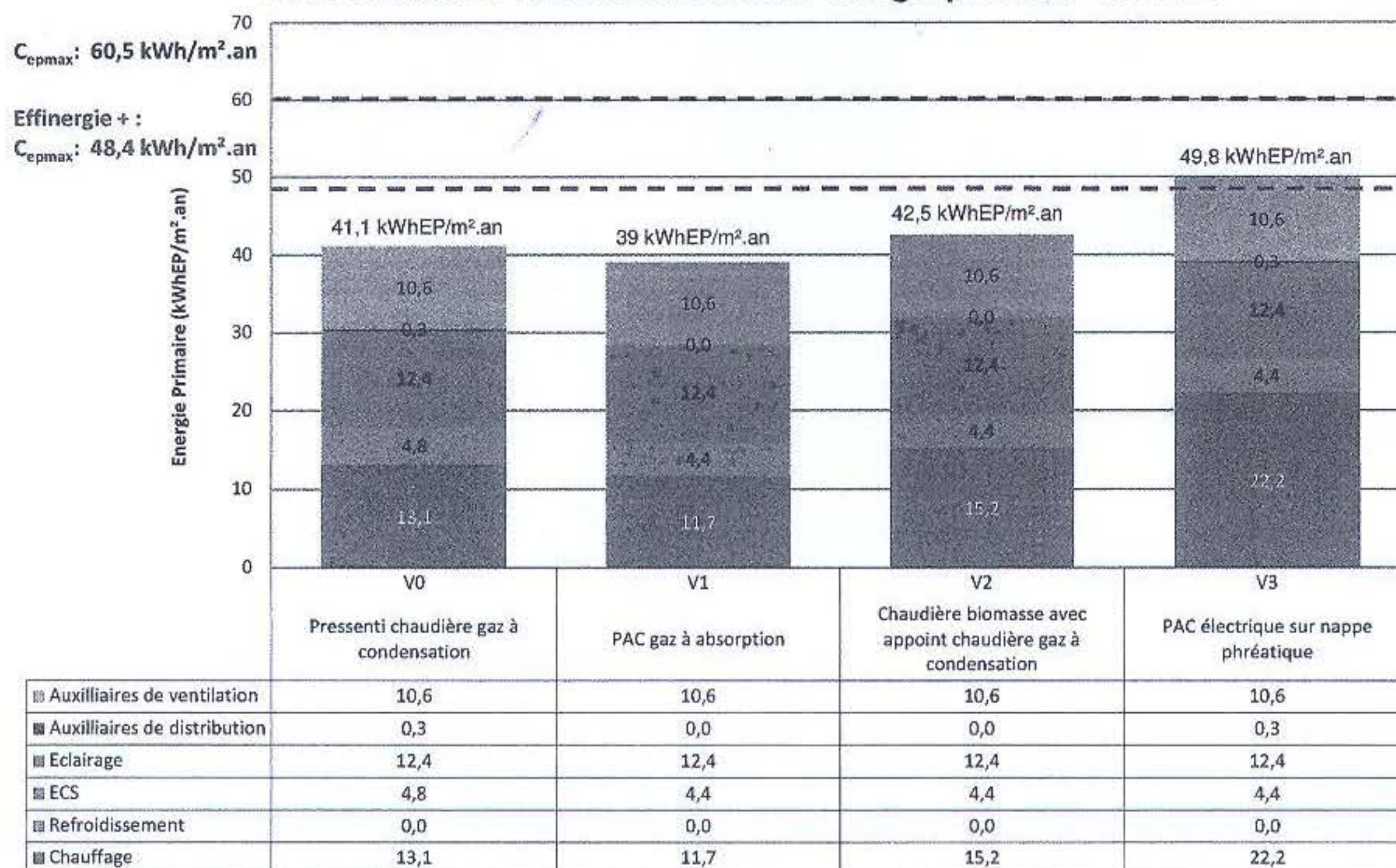


Figure 4 – Graphique des résultats RT2012

Les résultats obtenus montrent que toutes les solutions envisagées permettent de répondre aux exigences de la réglementation RT2012 mais pas au label Effinergie+ pour la variante 3.

4.3 COÛTS D'EXPLOITATION ET TEMPS DE RETOUR

Les consommations conventionnelles déterminées ci-dessus ont servi de base pour estimer les coûts d'exploitation ainsi que le temps de retour sur investissement éventuel des variantes par rapport à la solution pressentie.

4.3.1 HYPOTHESES

Les prix des différentes énergies ont été fixés ainsi :

Sources d'énergie	Prix des énergies		
Tarif Électricité (moyenne année 2016)	HPH	0,12	€ HT/kWh
	HCH	0,091	€ HT/kWh
	HPE	0,07	€ HT/kWh
	HCE	0,055	€ HT/kWh
Abonnement EDF		42,52	€ HT/kVA
Tarif GDF (moyenne année 2016)		0,065	€ HT/kWh
Abonnement GDF		220	€ HT
Tarif plaquettes / granulés de bois		0,042	€ HT/kWh

Figure 5 - Coût de l'énergie pris en compte (moyenne de 2016)

Nous avons considéré un taux d'emprunt de 1% sur une durée de 20ans pour l'investissement de chaque variante.

Pour les puissances souscrites auprès d'EDF, nous avons uniquement considéré les puissances liées à l'utilisation des systèmes de production de chaud. Il ne s'agit pas de la puissance souscrite pour le fonctionnement de l'ensemble du bâtiment. L'objectif de notre étude est de comparer les variantes entre elles.

4.3.2 RESULTATS

Le tableau suivant recense pour les variantes étudiées le coût d'investissement, le coût d'exploitation ainsi que le temps de retour sur investissement.

Pour affiner nos résultats, nous présentons trois scénarii pour l'évolution du coût de l'énergie : 3%, 6% et 9% par an.

Variantes	V0 Pressenti chaudière gaz à condensation	V1 PAC gaz à absorption	V2 Chaudière biomasse avec appoint chaudière gaz à condensation	V3 PAC électrique sur nappe phréatique
Coût d'investissement (€ TTC)				
Total	31 000 €	91 000 €	66 000 €	174 000 €
Surcoût d'investissement par rapport au système pressenti		60 000 €	35 000 €	143 000 €
Coût d'exploitation (€ TTC)				
Energie	3 700 €	3 300 €	3 300 €	3 900 €
Abonnement	1 300 €	1 300 €	1 000 €	3 600 €
Coût entretien	510 €	1 080 €	1 100 €	800 €
Coût Total (€ TTC)	5 510 €	5 680 €	5 400 €	8 300 €
Financement				
Emprunt	31 000 €	91 000 €	66 000 €	174 000 €
Taux d'intérêt	1,00%			
Durée de l'emprunt (années)	20			
Annuités	1 700 €	5 000 €	3 700 €	9 600 €
Dépense annuelle brute (Annuités + Exploitation)	7 200 €	10 700 €	9 100 €	17 900 €
Dépense brute sur 20 ans	144 200 €	213 600 €	182 000 €	358 000 €
Temps de retour brut				
		-	> 50 ans	-
Analyse en Coût global				
Hypothèses :				
Taux d'actualisation	3%			
Taux d'inflation	2%			
Coût global sur 20 ans Augmentation du prix de l'énergie de 3% par an	132 000 €	183 400 €	159 000 €	300 400 €
Coût global sur 20 ans Augmentation du prix de l'énergie de 6% par an	159 400 €	207 900 €	183 500 €	329 300 €
Coût global sur 20 ans Augmentation du prix de l'énergie de 9% par an	199 400 €	243 500 €	219 100 €	371 400 €

Figure 6 – Détail des coûts et temps de retour

La variante pressentie avec une chaudière gaz à condensation présente le coût d'investissement le plus faible. De plus, cet équipement simple d'entretien nécessite moins de frais de maintenance. La dépense brute sur 20 ans de cette variante est la plus faible, même en intégrant une augmentation du prix de l'énergie.

La variante V1 avec une pompe à chaleur gaz à absorption ne présente pas de temps de retour sur investissement par rapport à V0. En effet, cette solution permet de réduire légèrement les consommations énergétiques mais le coût d'exploitation total reste plus important que celui de la variante pressentie, dû à un coût d'entretien plus élevé.

La variante V2 pourrait avoir un intérêt dans le fait que le coût du kWh de bois est plus faible que celui du gaz. Mais l'économie sur les coûts d'exploitation n'est pas suffisante pour pallier le surcoût d'investissement en un nombre d'années raisonnable ; le temps de retour brut est supérieur à 50 ans.

La variante V3 présente la dépense brute la plus importante ; cette variante n'est pas rentable. La pompe à chaleur sur nappe permet de limiter les consommations énergétiques mais le tarif élevé de l'électricité et de l'abonnement spécifique engendre un coût d'exploitation important.

A noter que le potentiel d'économie sur le coût d'exploitation purement énergétique reste faible car une optimisation de l'enveloppe a été réalisée afin de limiter les consommations énergétiques.

4.4 CONCLUSION DE L'ETUDE

L'analyse des coûts d'exploitation laisse donc apparaître que la variante pressentie d'une chaudière gaz à condensation est la plus intéressante financièrement et présente un coût global sur 20 ans toujours avantageux par rapport aux autres variantes.

5 ETUDE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE

5.1 OBJET

La présente étude permettra d'analyser la faisabilité d'une installation de panneaux photovoltaïques en toiture du projet. L'estimation de la productivité annuelle permettra d'appréhender la rentabilité du système.

Le contexte réglementaire est actuellement très changeant et de récents arrêtés et décrets ont modifié les conditions de raccordement pour l'autoconsommation. Les frais de raccordement seront à priori désormais identiques pour une installation en autoconsommation avec revente du surplus et une installation avec revente totale.

Les futurs décrets sont en cours d'élaboration mais certains observateurs évaluent le futur tarif de rachat du surplus non autoconsommé à 6 c€ TTC / kWh. C'est cette valeur que nous retiendrons pour la revente du surplus.

Nous étudierons 3 variantes :

- Revente totale comprenant une surface maximale de panneaux en toiture
- Surface de panneaux identique avec autoconsommation en base et revente du surplus à un tarif de rachat fixe
- Autoconsommation avec revente du surplus comprenant une surface de panneaux adaptée aux besoins du bâtiment

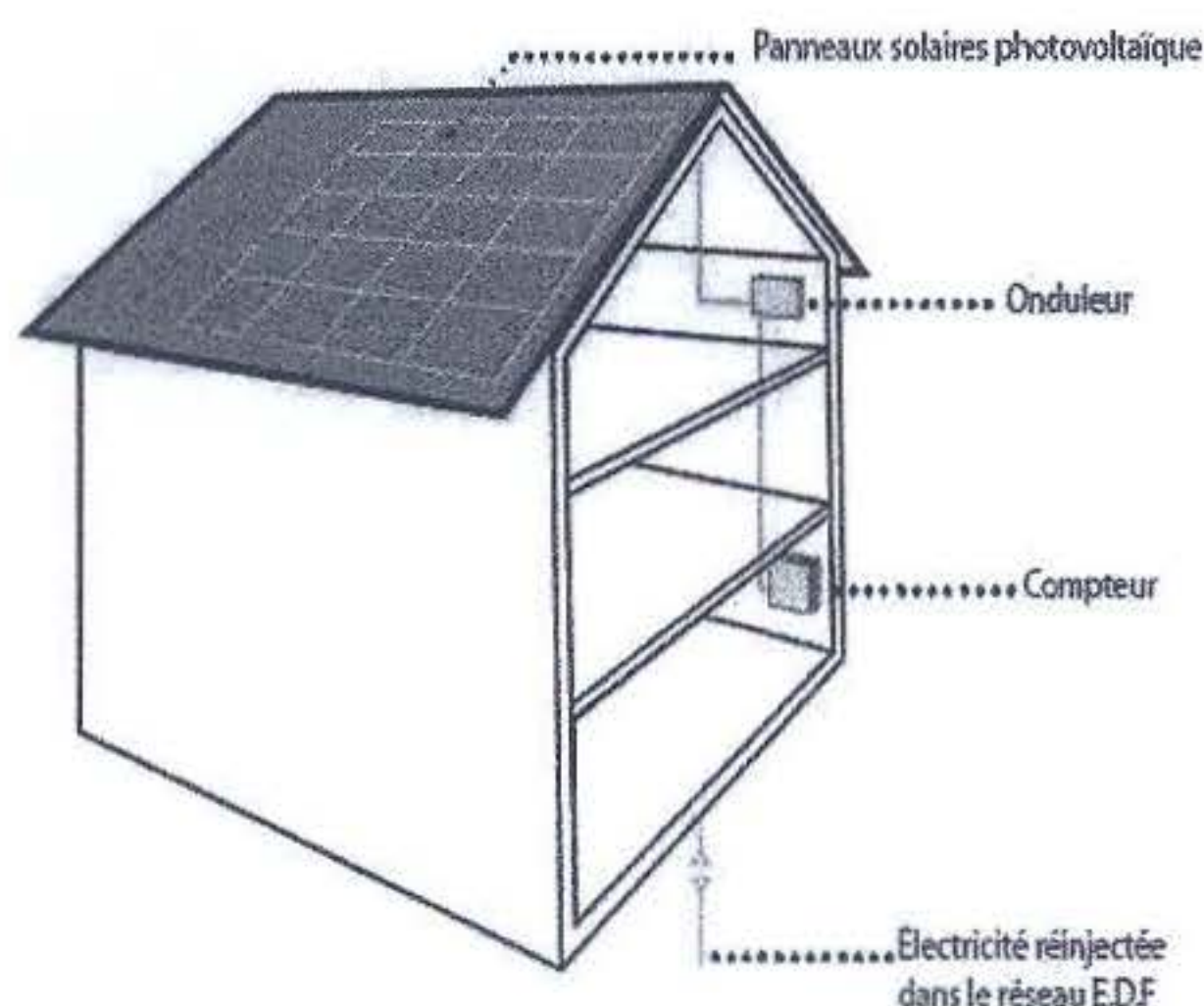
5.2 DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

5.2.1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Les cellules photovoltaïques exposées à la lumière du soleil produisent un courant électrique continu, elles sont composées de deux couches de semi-conducteurs à base de cristaux, le plus souvent du silicium. Les cellules photovoltaïques, une fois assemblées, sont la base des modules solaires photovoltaïques.

Les modules ou panneaux solaires photovoltaïques sont installés en série pour former une installation complète de la puissance désirée. L'installation peut soit alimenter des batteries pour une utilisation en site isolé, soit fournir le réseau en électricité. C'est cette deuxième solution qui est retenue pour ce projet.

La procédure pour raccorder une centrale photovoltaïque au réseau est relativement simple. Le seul matériel à installer est un onduleur avec une protection contre la foudre et des dispositifs de sectionnement. L'onduleur transforme le courant continu obtenu aux bornes des panneaux solaires photovoltaïques en courant alternatif pouvant être injecté au réseau (schéma ci-dessous).



5.2.2 TYPE ET SURFACE DES CAPTEURS - PUISSANCE CRETE DU GENERATEUR ET DES ONDULEURS

Il est préférable d'implanter les capteurs dans la zone la moins ombragée. Sur le toit, aucun obstacle ne présente de risques d'ombrages pendant les heures effectives des panneaux solaires. Les bâtiments et les arbres sont suffisamment éloignés, le relief est dégagé. Les modules seront positionnés à plat.

5.2.3 ONDULEUR

L'onduleur a pour rôle de convertir le courant continu des capteurs photovoltaïques en courant alternatif identique à celui du réseau. C'est un appareil électronique de haute technologie, géré par microprocesseur, qui garantit que le courant produit répond exactement aux normes fixées par le gestionnaire du réseau, tant en terme de qualité du courant (voltage, fréquence, émission d'harmoniques, etc.) qu'en terme de sécurité (protection de découplage). Il se présente sous la forme d'un boîtier métallique de petites dimensions, muni d'un radiateur ou d'un ventilateur. Il doit être placé sur un support vertical (mur par exemple) et dans un espace ventilé. Il n'émet aucun parasite électromagnétique et ne génère quasiment aucun bruit.

5.2.4 MODE DE SUIVI

Il sera prévu un contrat de maintenance par une entreprise spécialisée. Le suivi de la production photovoltaïque se fera par lecture du compteur de revente. Il faudra établir un relevé, au moins trimestriel, des compteurs afin de détecter un éventuel problème au niveau de la production. Les prévisions sont calculées à partir du logiciel d'estimation d'électricité PVGIS² de la commission européenne pour la simulation dynamique.

² : <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>

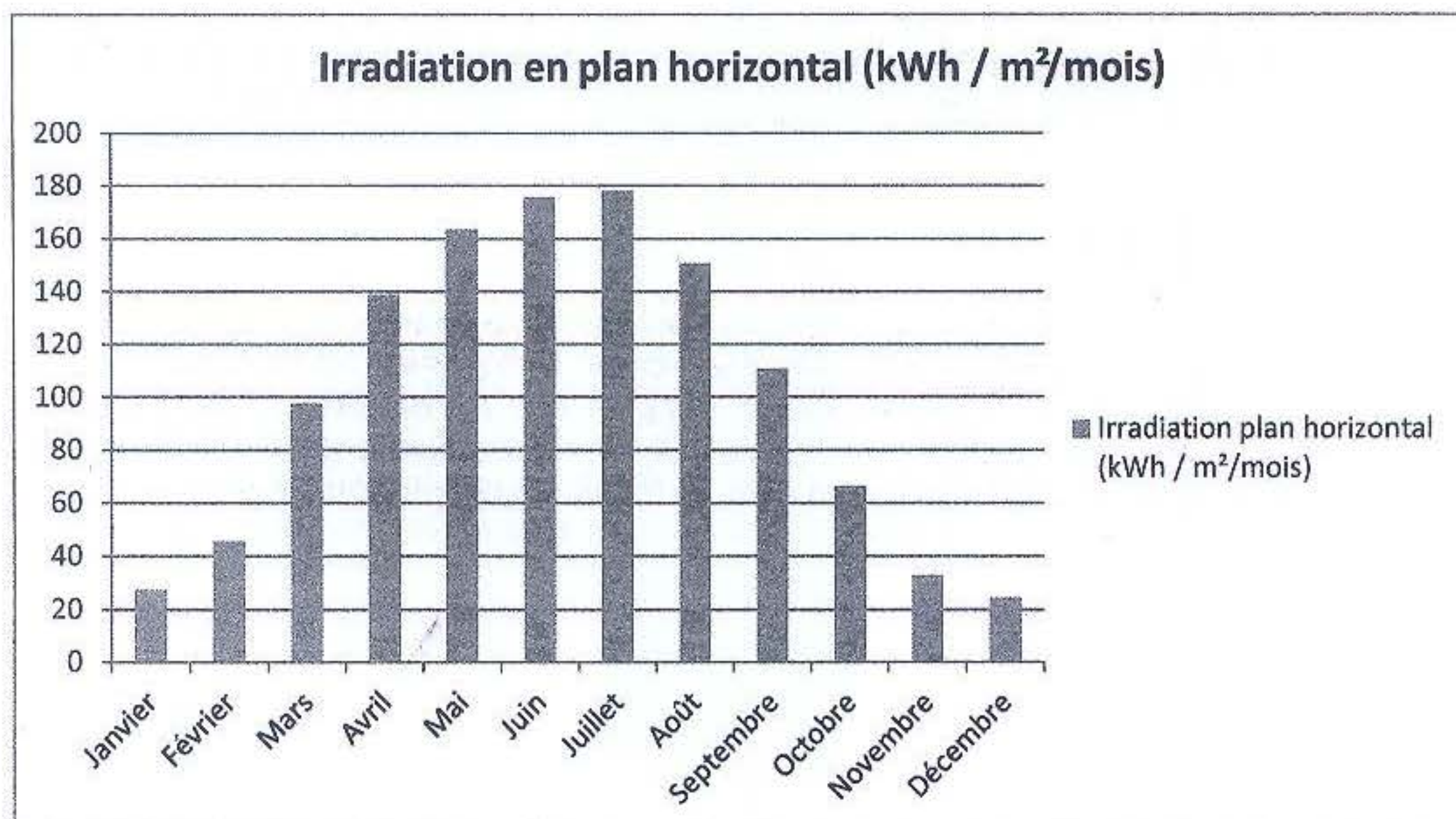
5.3 PRODUCTION ÉLECTRIQUE PHOTOVOLTAÏQUE

5.3.1 METEOROLOGIE

La météorologie permet de répertorier les observations et relevés climatiques d'une région faits jusqu'à présent pour estimer l'évolution à venir. C'est sur les moyennes d'ensoleillement des années passées qu'est basé le calcul de production électrique.

Etant donné la variabilité de l'évolution du climat, la production électrique variera d'une année sur l'autre, mais nos calculs ont pour but d'estimer la production qui sera constatée en moyenne sur la durée de vie des panneaux.

Le graphique ci-dessous représente une estimation de l'irradiation moyenne pour chaque mois de l'année dans le plan du panneau photovoltaïque. Il se réfère aux données renseignées par la base de données du logiciel.



L'irradiation est la quantité d'énergie rayonnée par le soleil sur la surface de la toiture par m². L'irradiation cumulée prévue sur une année est de 1 211 kWh/m².

5.3.2 IMPLANTATION ET SURFACES INDUITES

Nous étudierons les 3 variantes suivantes :

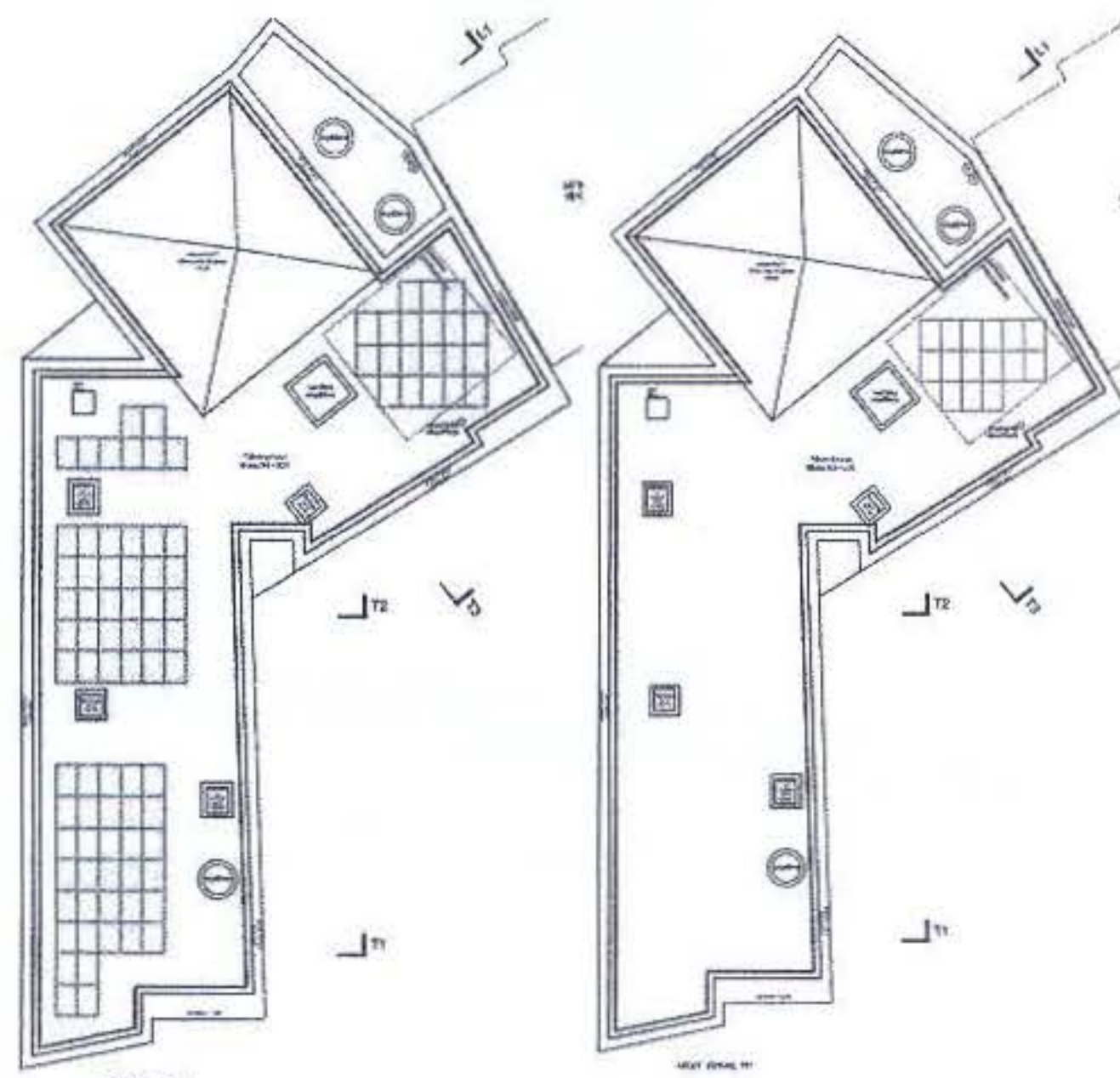
- Variante 1 en revente totale, l'intégralité de la toiture terrasse peut être utilisée (en laissant un espace de maintenance autour des panneaux et autour des édicules de désenfumage et édicule ascenseur, etc.)
- Variante 2 comprenant une surface de panneaux identique mais avec autoconsommation et revente du surplus. Nous tiendrons compte d'un tarif de rachat du surplus de 6 c€/ kWh
- Variante 3 en autoconsommation optimisée, c'est-à-dire que la puissance crête de l'installation correspond à la puissance de fonctionnement du bâtiment

Pour le calcul de la puissance à installer, il a été pris en compte la puissance des ventilateurs des centrales de ventilation à hauteur de 75% de la puissance maximale (considérant une réduction des débits liée à la mise en place de détecteurs de présence et de sondes CO₂). Nous considérons également une puissance de base liée au fonctionnement du bâtiment (serveurs informatiques, veille d'ascenseur, veilles des BAES, veilles diverses). La puissance prise en compte est donc de 3 kW pour les ventilateurs de CTA et 1 kW pour la puissance électrique de base soit un total installé de 4 kWc.

En considérant des capteurs standards de 270 Wc pour une surface unitaire de 1,46 m², voici les 2 champs de capteurs proposés :

	<i>Revente totale et autoconsommation avec revente</i>	<i>Autoconsommation avec revente du surplus</i>
Nbre Panneaux	92	15
Surface (m ²)	134	22
Inclinaison (°)	5	5
Puissance par panneau (Wc)	270	270
Puissance totale (kWc)	24,8	4,1

L'implantation des panneaux photovoltaïques dans le contexte du bâtiment est la suivante :



Implantation photovoltaïque
Variantes revente totale
et autoconsommation avec
revente (134m²)

Implantation photovoltaïque
Variante autoconsommation
optimisée (22m²)

5.3.3 PRODUCTION ANNUELLE ESTIMEE

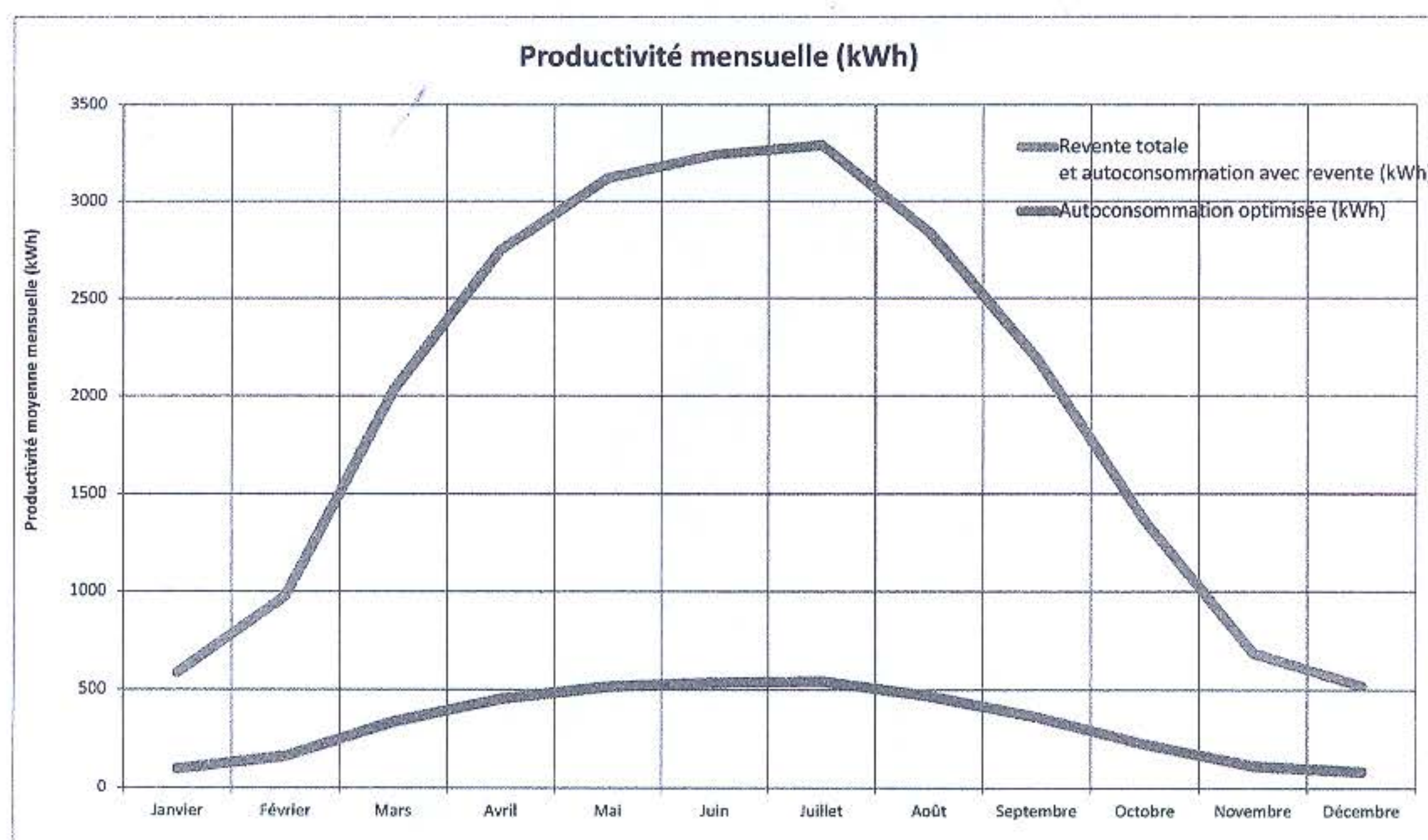
Le logiciel permet d'estimer la production annuelle du système en intégrant les pertes de l'installation. Ces pertes sont estimées à environ 25%.

A partir du tableau de l'irradiation moyenne mensuelle, nous obtenons la production annuelle. La productivité solaire des panneaux considérés est estimée à 955 kWh/kWc.an.

Le tableau suivant détaille ces informations détaille la production d'électricité photovoltaïque totale par mois en kWh par variante :

	Revente totale et autoconsommation avec revente (kWh)	Autoconsommation optimisée (kWh)
Janvier	586	97
Février	976	161
Mars	2030	336
Avril	2750	454
Mai	3120	516
Juin	3240	536
Juillet	3290	272
Août	2840	469
Septembre	2190	362
Octobre	1360	225
Novembre	688	114
Décembre	520	86
	23590	3628

Le graphique suivant détaille la production d'électricité photovoltaïque totale par mois en kWh :



5.3.4 ANALYSE ECONOMIQUE

L'installation est considérée comme en intégration simplifiée au bâti (ISB) et son tarif d'achat par EDF est donc de 11,76 c€/kWh, (tarif du 01/01/17 au 31/03/17).

Pour la version en autoconsommation, nous tenons compte d'un taux d'autoconsommation de 100% puisque la puissance maximale de l'installation est dimensionnée pour couvrir une puissance de base du bâtiment, présente de manière constante en journée. Pour obtenir le tarif du kWh économisé en autoconsommation, nous avons considéré une modulation été / hiver tenant compte des heures pleines hiver pour la période d'octobre à avril inclus et des heures pleines été pour le reste de l'année).

Les tableaux suivants détaillent les différents éléments calculés :

- V1 revente totale :

	Production Totale	Puissance moyenne sur les heures d'ensoleillement	Tarif d'achat contractuel	Gains en revente totale
	kWh	kW	c€/ kWh	€
Janvier	586	2,4	11,76	68,91 €
Février	976	3,9	11,76	114,78 €
Mars	2030	8,2	11,76	238,73 €
Avril	2750	11,1	11,76	323,40 €
Mai	3120	12,6	11,76	366,91 €
Juin	3240	13,1	11,76	381,02 €
Juillet	3290	13,3	11,76	386,90 €
Août	2840	11,5	11,76	333,98 €
Septembre	2190	8,8	11,76	257,54 €
Octobre	1360	5,5	11,76	159,94 €
Novembre	688	2,8	11,76	80,91 €
Décembre	520	2,1	11,76	61,15 €
	23590			2 774,18 €

- V2 autoconsommation avec revente du surplus :

	Production Totale	Puissance moyenne sur les heures d'ensoleillement	Puissance ventilation + base	Taux d'auto-consommation	Tarif d'achat contractuel	Tarif du kWh électricité économisé en autoconsommation	Gains en autoconsommation + revente du surplus
	kWh	kW	kW	%	c€/ kWh	c€/ kWh	€
Janvier	586	2,4	4,0	100%	6,00	12,00	70,32 €
Février	976	3,9	4,0	100%	6,00	12,00	117,12 €
Mars	2030	8,2	4,0	49%	6,00	12,00	181,32 €
Avril	2750	11,1	4,0	36%	6,00	7,00	174,92 €
Mai	3120	12,6	4,0	32%	6,00	7,00	197,12 €
Juin	3240	13,1	4,0	31%	6,00	7,00	204,32 €
Juillet	3290	13,3	1,0	8%	6,00	7,00	199,88 €
Août	2840	11,5	4,0	35%	6,00	7,00	180,32 €
Septembre	2190	8,8	4,0	45%	6,00	7,00	141,32 €
Octobre	1360	5,5	4,0	73%	6,00	12,00	141,12 €
Novembre	688	2,8	4,0	100%	6,00	12,00	82,56 €
Décembre	520	2,1	4,0	100%	6,00	12,00	62,40 €
	23590						1 752,72 €

- V3 autoconsommation optimisée sans revente :

	Production Totale	Puissance moyenne sur les heures d'ensoleillement	Puissance ventilation + base	Taux d'auto-consommation	Tarif du kWh électricité économisé en auto-consommation	Gains en auto-consommation totale
	kWh	kW	kW	%	c€/ kWh	€
Janvier	97	0,4	4,0	100%	12,00	11,64 €
Février	161	0,6	4,0	100%	12,00	19,32 €
Mars	336	1,4	4,0	100%	12,00	40,32 €
Avril	454	1,8	4,0	100%	7,00	31,78 €
Mai	516	2,1	4,0	100%	7,00	36,12 €
Juin	536	2,2	4,0	100%	7,00	37,52 €
Juillet	543	2,2	1,0	46%	7,00	17,36 €
Août	469	1,9	4,0	100%	7,00	32,83 €
Septembre	362	1,5	4,0	100%	7,00	25,34 €
Octobre	225	0,9	4,0	100%	12,00	27,00 €
Novembre	114	0,5	4,0	100%	12,00	13,68 €
Décembre	86	0,3	4,0	100%	12,00	10,32 €
	3899					303,23 €

Le tableau suivant détaille les coûts d'investissement et le temps de retour brut des 3 variantes :

Variante	V0 Base sans photovoltaïque	V1 Photovoltaïque 134 m ² Revente totale	V2 Photovoltaïque 134 m ² Autoconsommation Revente du surplus	V3 Photovoltaïque 22 m ² Autoconsommation Optimisée sans revente
Coût d'investissement (€ TTC)				
Total	0 €	73 200 €	73 200 €	10 080 €
Temps de retour brut				
		26 ans	42 ans	33 ans

Le coût d'investissement comprend l'installation, une provision de raccordement au réseau ErDF (pour V1 et V2, V3 n'étant pas raccordé au réseau) ainsi que le coût de remplacement des onduleurs (2 occurrences sur 20ans).

Le temps de retour brut est de 26 ans pour la revente totale et de 42 ans pour l'autoconsommation + revente du surplus.

La variante autoconsommation optimisée dispose d'un temps de retour brut de 33 ans.

5.4 CONCLUSION DE L'ETUDE

L'installation d'une centrale photovoltaïque avec revente de la production présente un temps de retour équivalent à la durée de vie de l'installation (estimée aux alentours de 30ans). Cependant, nous n'avons ici pas considéré de baisse de productivité de l'installation qui va encore allonger un temps de retour déjà peu intéressant.

La même installation tenant compte de l'autoconsommation avec revente du surplus est peu compétitive du fait du tarif de rachat de la surproduction limité à 6 c€/kWh. Le taux d'autoconsommation est ici néanmoins légèrement sous-dimensionné car limité aux consommations de base constante sur la journée. En réalité, les consommations électriques liées à l'occupation du bâtiment pourront être en partie compensées lorsque la production photovoltaïque est plus élevée. Mais l'ordre de grandeur du temps de retour ne permet pas d'être compétitif.

La variante en autoconsommation optimisée dispose d'un temps de retour de 33ans peu intéressant au vu des tarifs réduits de l'énergie notamment en été (7 c€ / kWh). Cette version permet cependant, pour un faible investissement de départ, de compenser des consommations électriques fatales en journée. De plus, la rentabilité de l'installation est totalement asservie aux tarifs d'achat de l'électricité qui sont en augmentation continue depuis plusieurs années. Ainsi, si l'on considère une augmentation des tarifs de l'électricité de 9% par an, la rentabilité du système passe à 15ans.

ANNEXE 1: GLOSSAIRE

• Symboles physiques

Nom	Unité	Définition
U	W/m ² .K	Coefficient de transmission surfacique. Valeur caractérisant la propension d'une paroi à transmettre la chaleur (Nombre de Watts déperdus par m ² de paroi et par degré de différence de température entre l'intérieur et l'extérieur). Plus la paroi est isolée, plus sa valeur U est faible.
λ [Lambda]	W/m.K	Conductivité thermique. Valeur caractérisant la propension d'un matériau à transmettre la chaleur, indépendamment de son épaisseur.

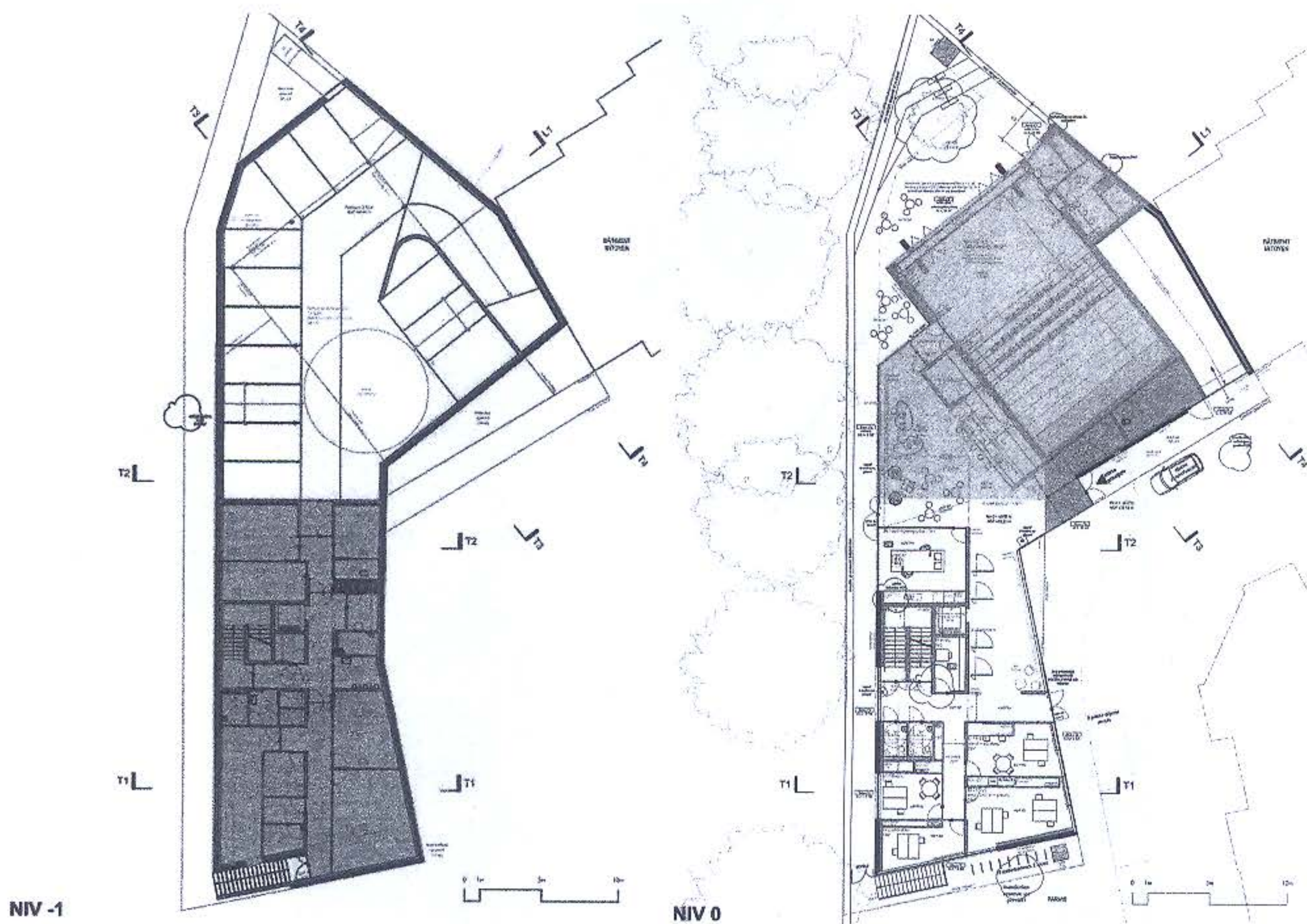
• Sigles

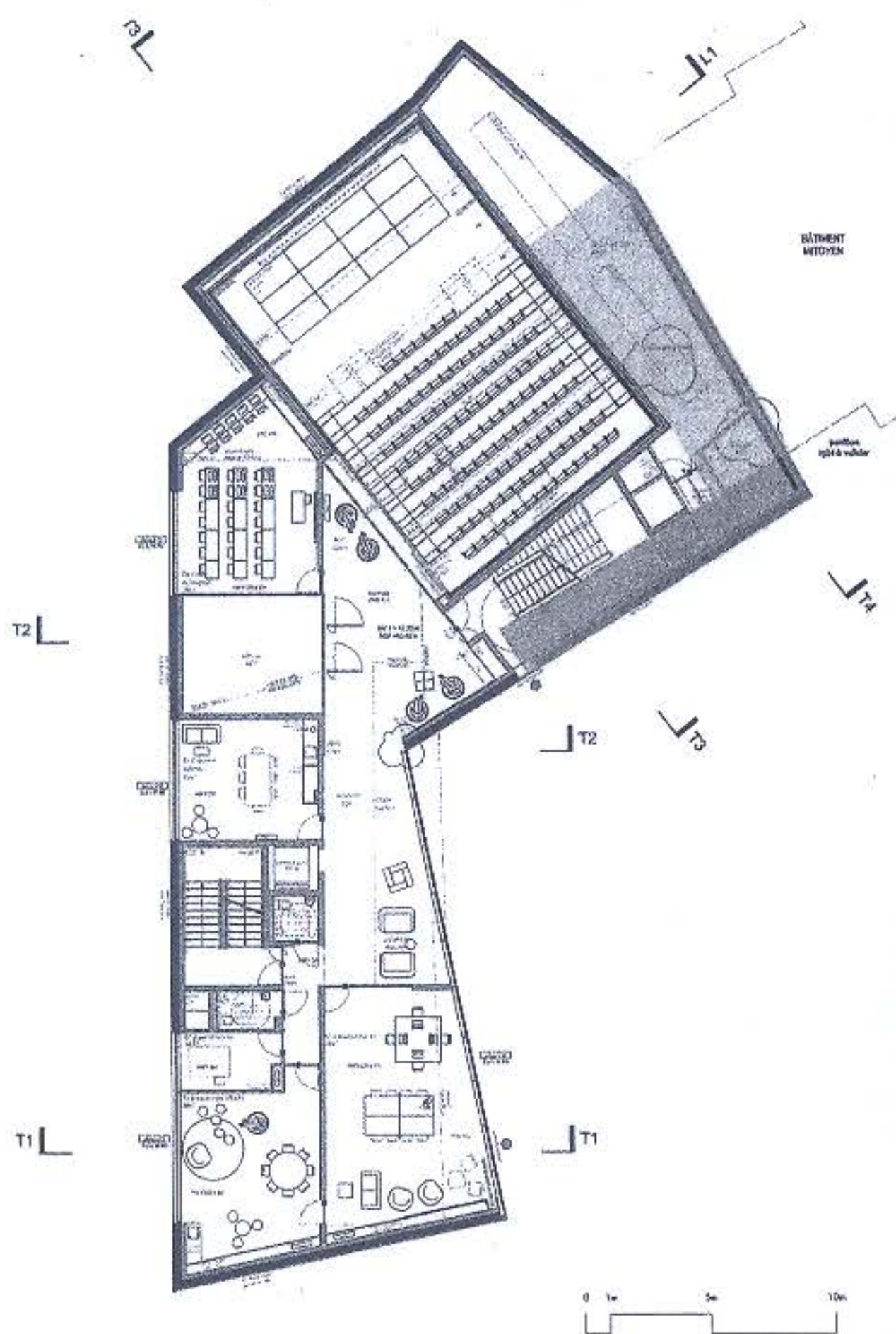
AutoR	Ventilation Autoréglable simple-flux.
ECS	Eau Chaude Sanitaire
EF	Energie Finale (décrit l'énergie consommée, avec rendements)
EP	Energie Primaire (décrit l'énergie soutirée à la nature)
EXT	Extérieure
Fibrastyrène	Isolation à base de polystyrène et de fibre de bois aggloméré pour la protection coupe-feu.
GAZ BT	Chaudière gaz basse température
GAZ Cond	Chaudière gaz à condensation
Hygro A	Ventilation hygroréglable simple-flux de Type A. Seule les bouches d'extraction s'ouvrent en fonction de l'humidité intérieure.
Hygro B	Ventilation hygroréglable simple-flux de Type B. Les bouches d'extraction et d'air neuf en façade s'ouvrent en fonction de l'humidité intérieure.
INT	Intérieure (isolation)
LDV	Laine De Verre
PCS/PCI	Pouvoir Calorifique Supérieur/Inférieur (chaleur latente de combustion)
PSE	Polystyrène
PU	Polyuréthane
SHAB	Surface Habitable
SHON	Surface Hors Œuvre Nette (surface de référence des calculs)
Rupteur PT	Rupteur de pont thermique
TH32	Classe de conductivité thermique de l'isolant, TH32 : conductivité de 0,032 W/(mK)
Uc	Coefficient de déperdition du caisson de volet roulant.
Ug	Coefficient de déperdition du vitrage.
Uf	Coefficient de déperdition des menuiseries.
VNR	Ventilation Naturelle Réhabilitée

ANNEXE 2: LOCALISATION DES PAROIS

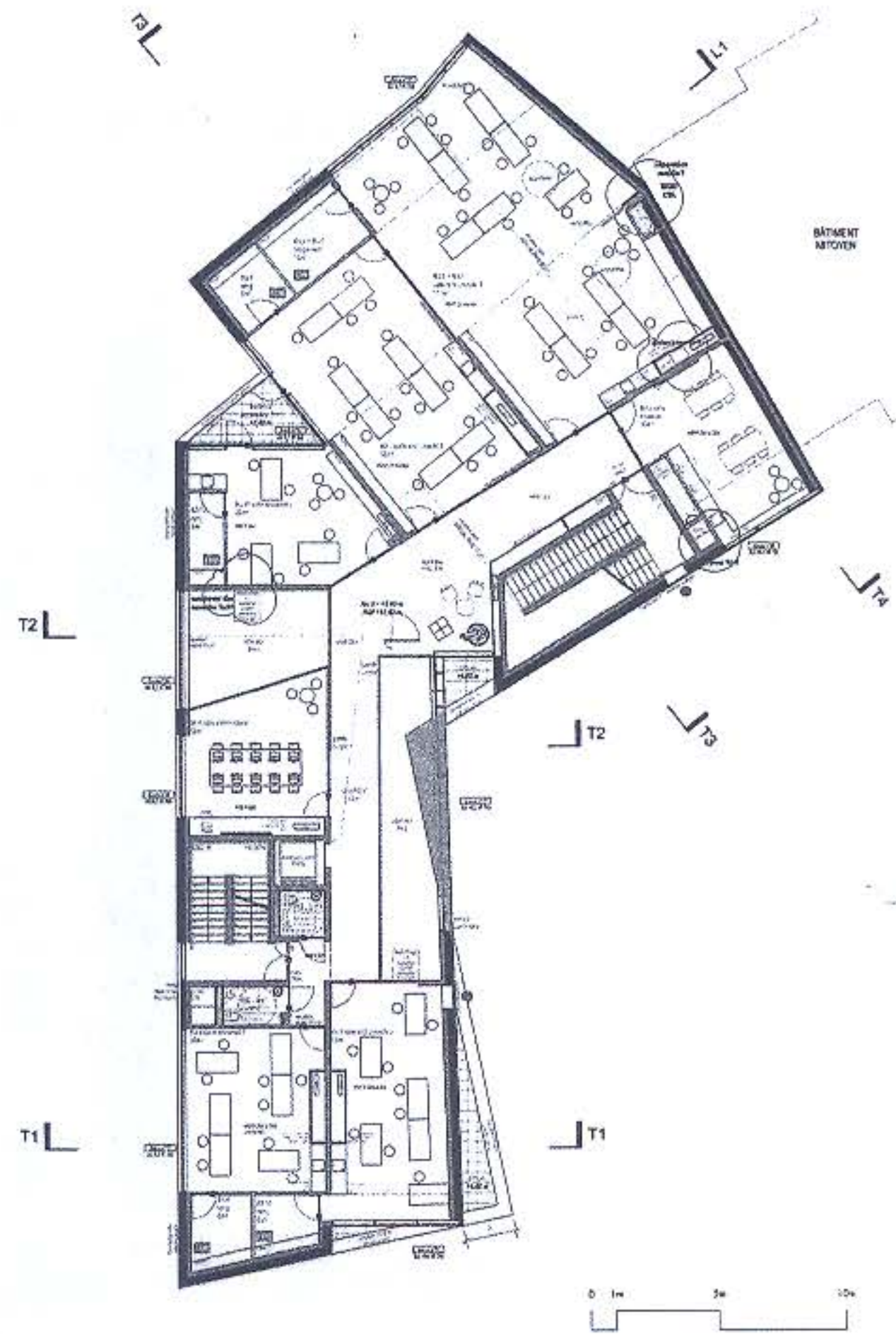
Ref.	Désignation
1	Plancher bas sur parking
2	Plancher bas sur terre-plein
3	Plancher bas sur extérieur
4	Mur extérieur façade ITE
5	Mur extérieur bardage pierre
6	Mur extérieur mitoyen
7	Mur extérieur enterré
8	Mur extérieur sur parking ITI
9	Mur extérieur sur parking ITE
10	Mur extérieur sur parking non isolé
	Plancher haut sur extérieur
12	Toiture

Localisation des dalles basses :



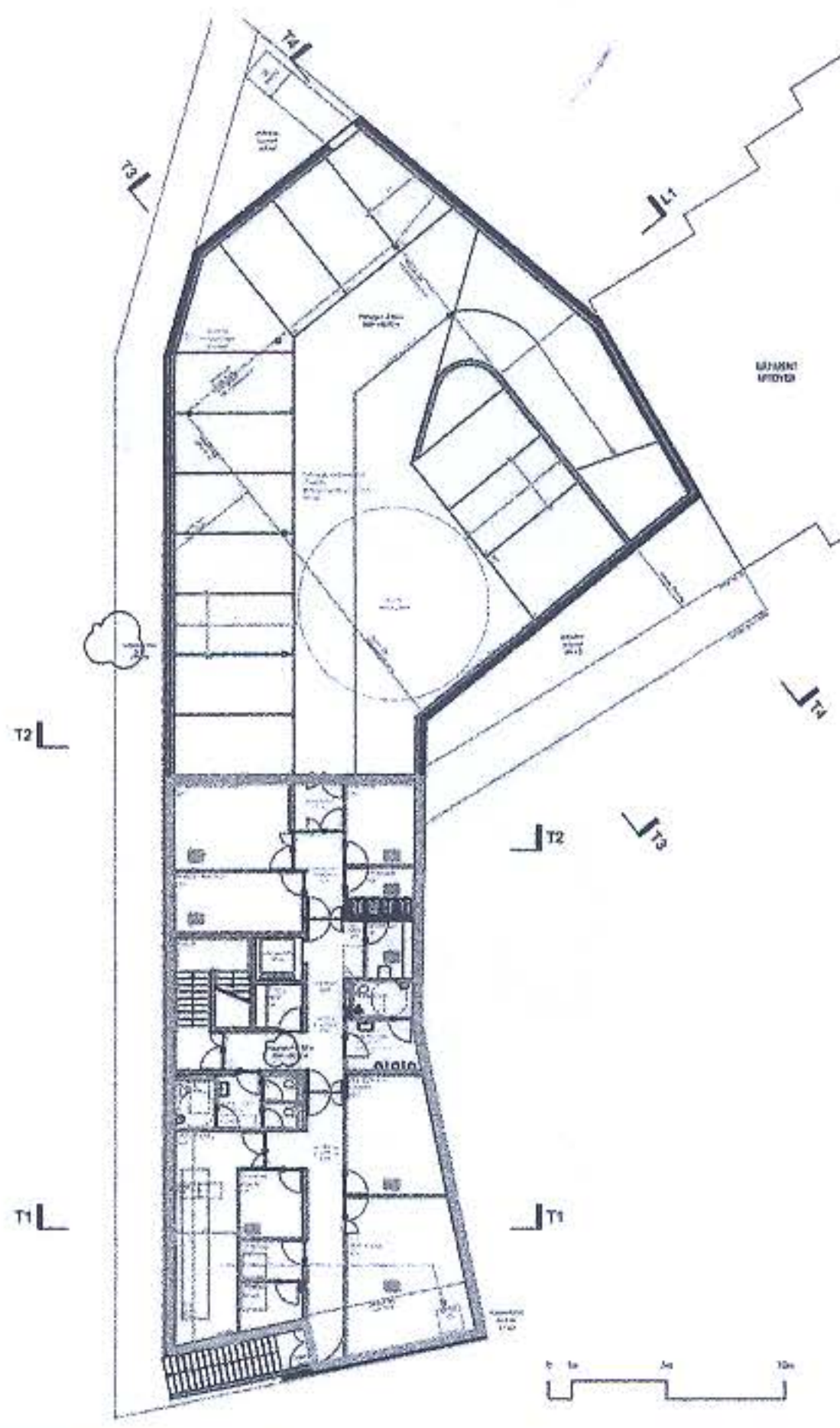


NIV 1

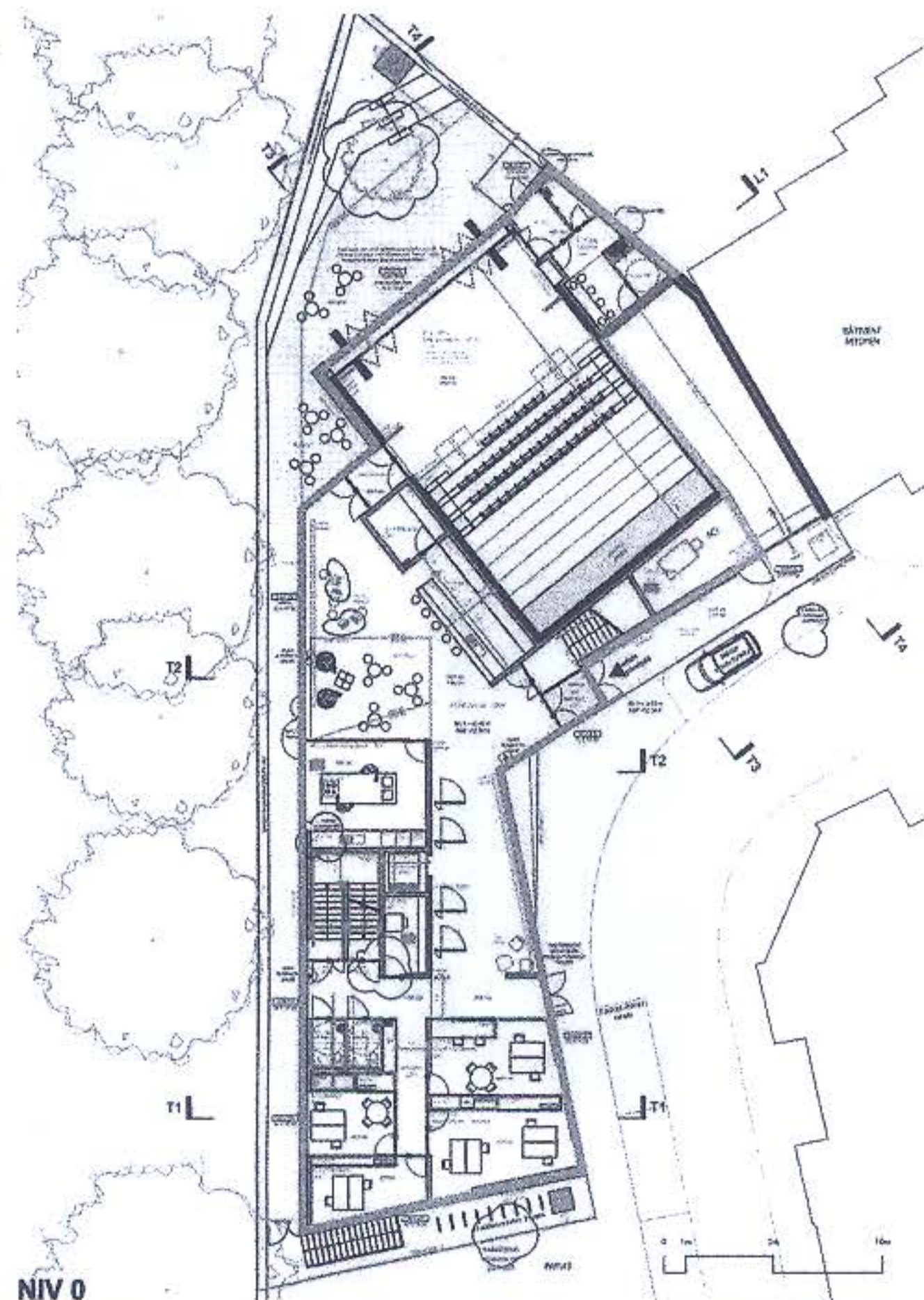


NIV 2

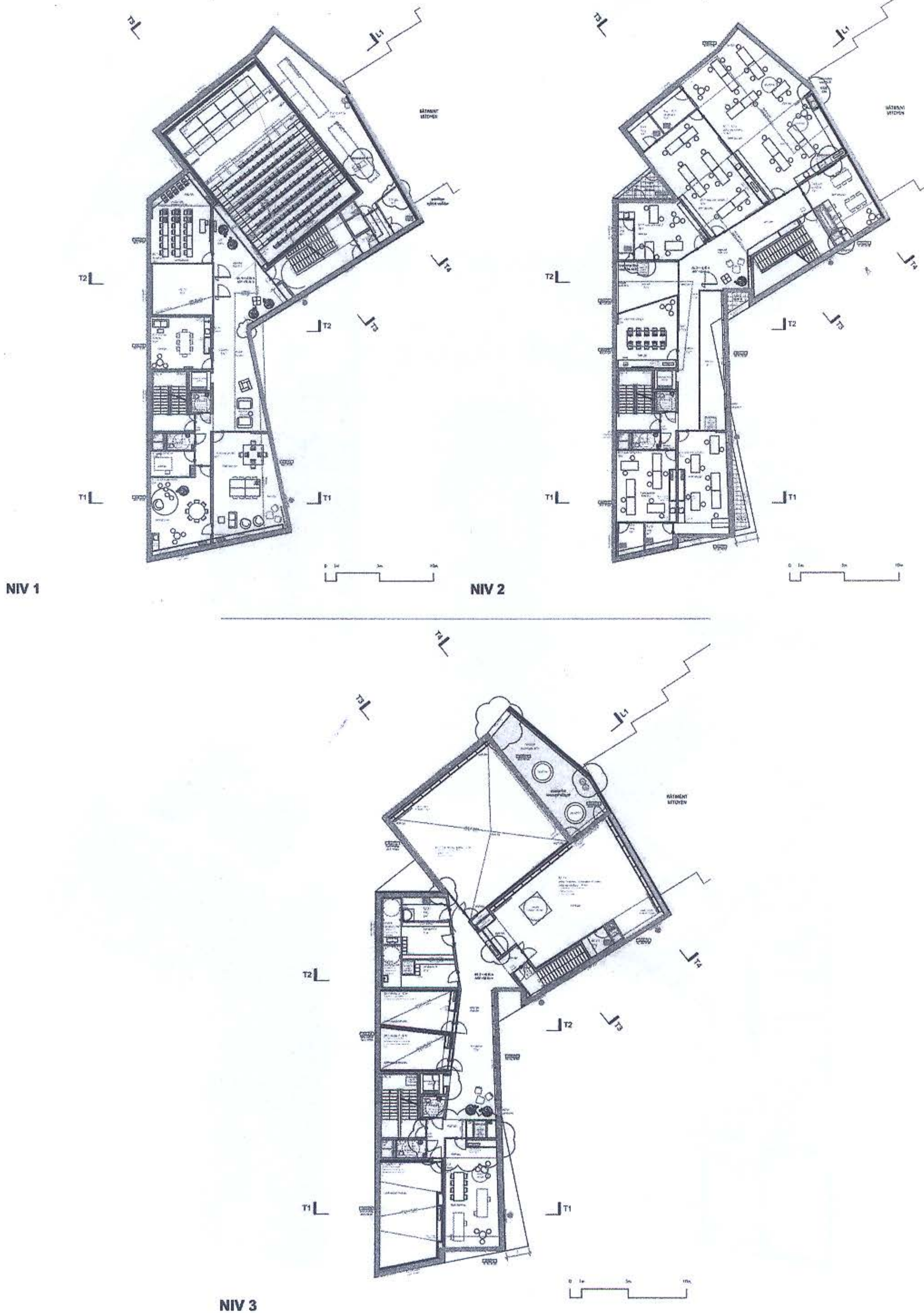
Localisation des parois verticales :



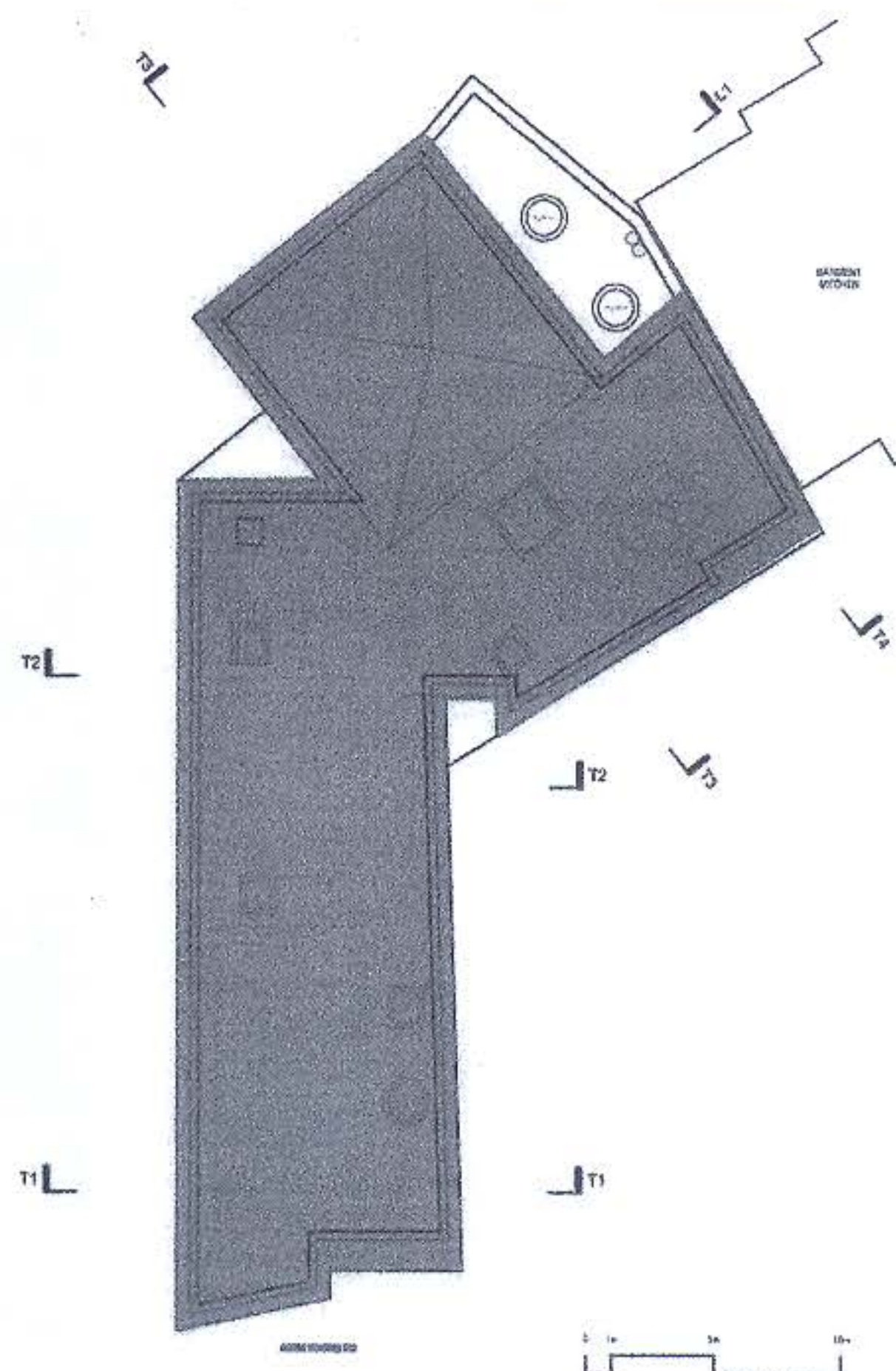
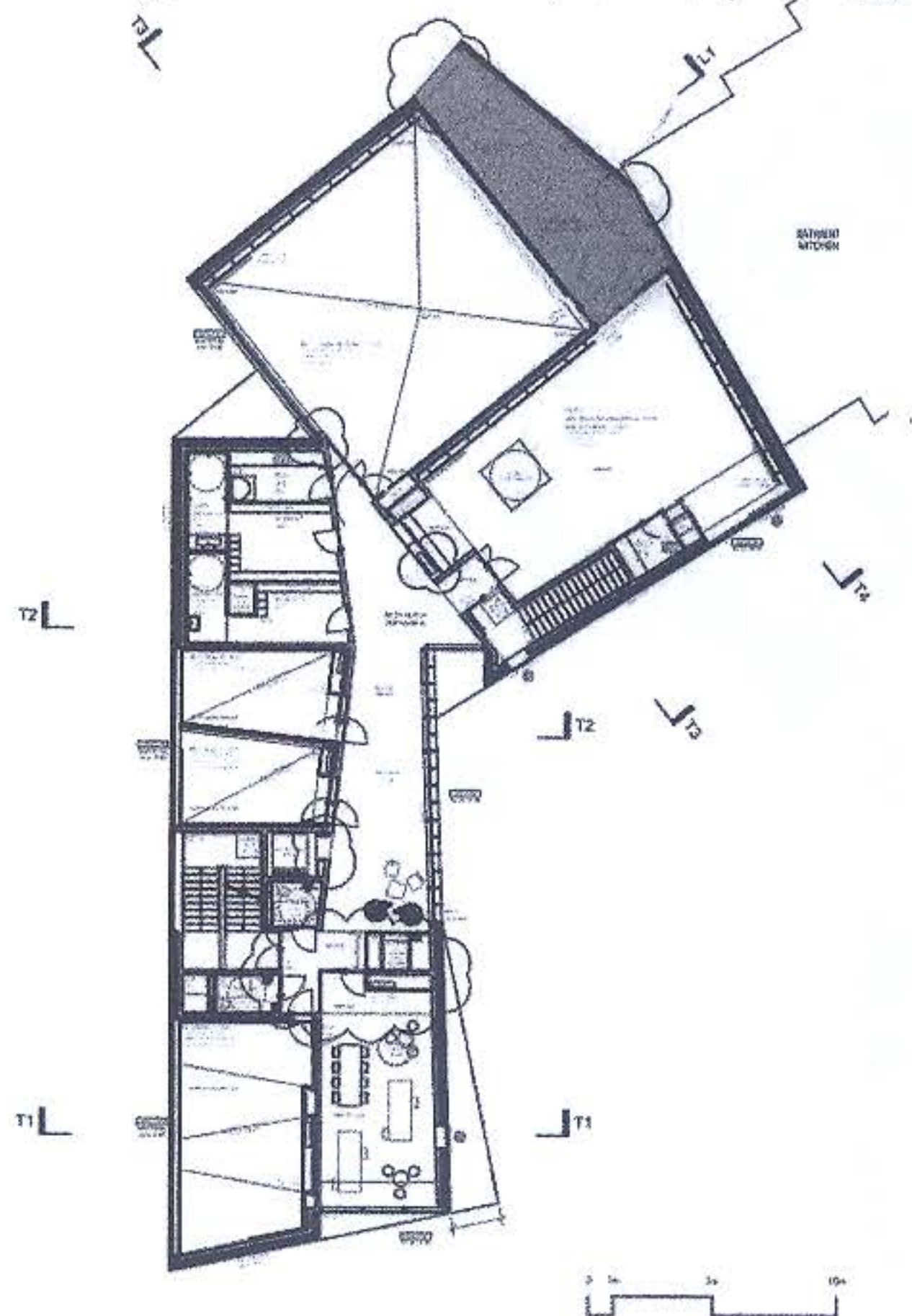
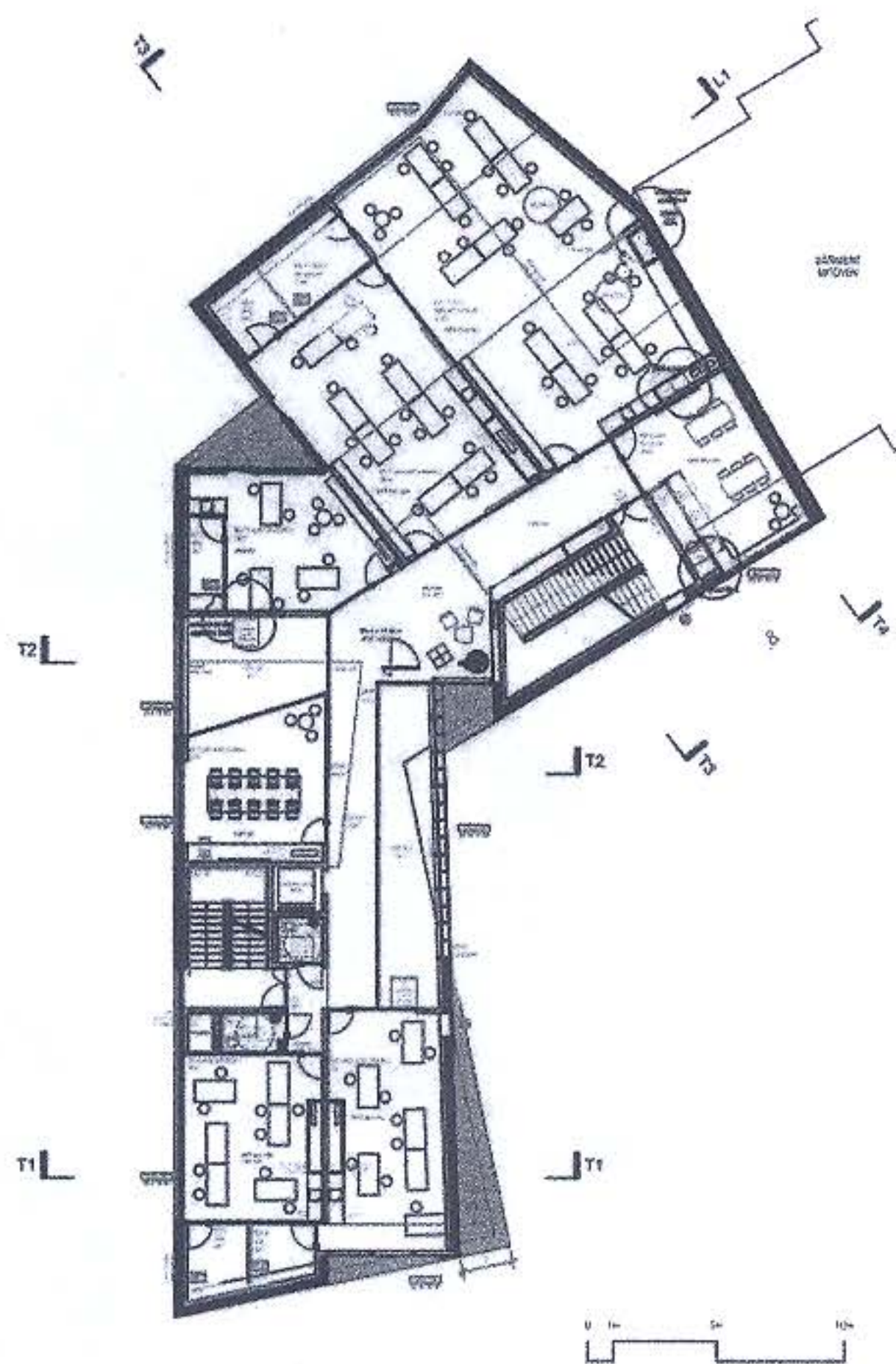
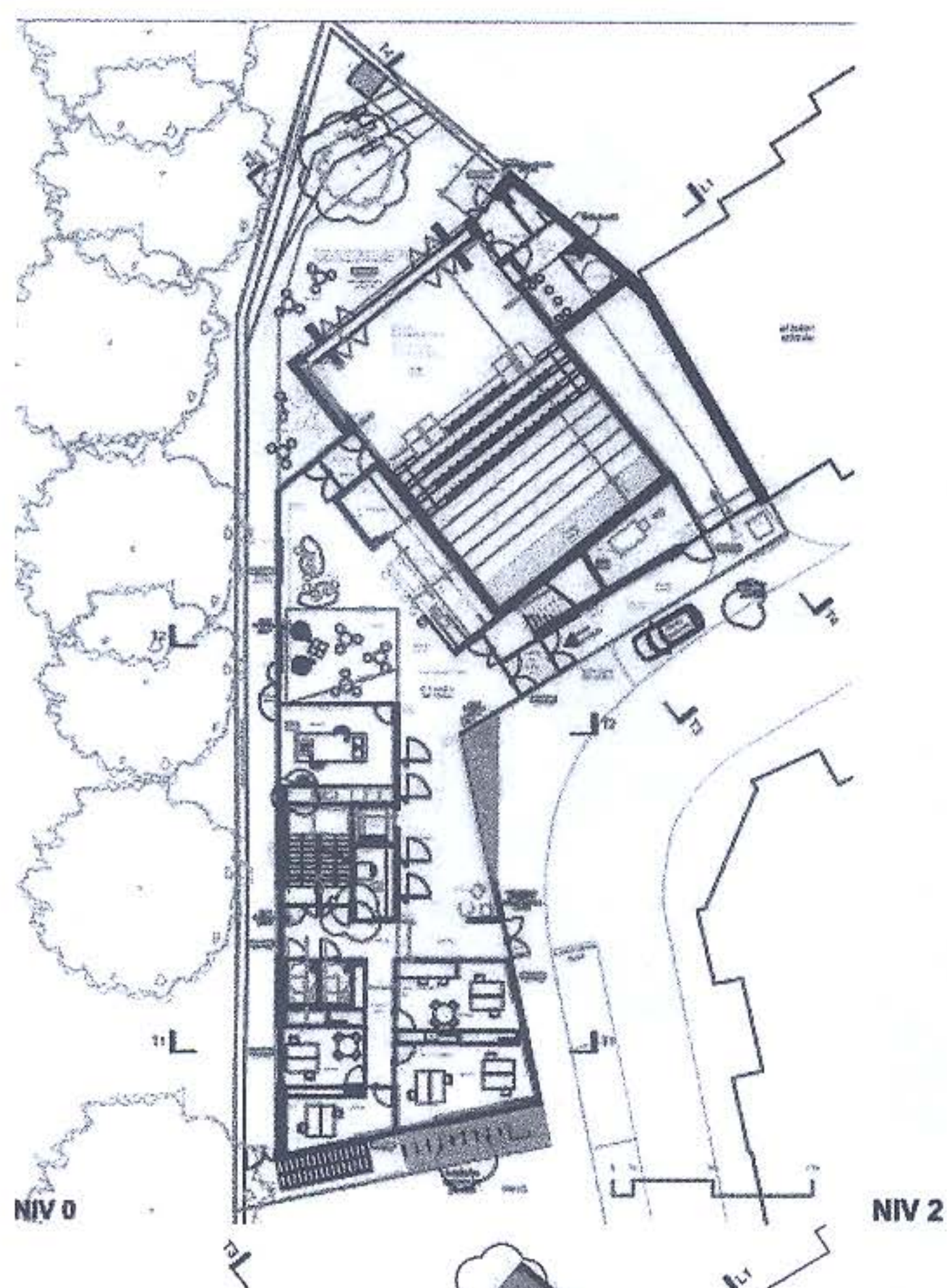
NIV -1



NIV 0



Localisation des dalles hautes :



NIV 3

ANNEXE 3: NOTICE RT2012
