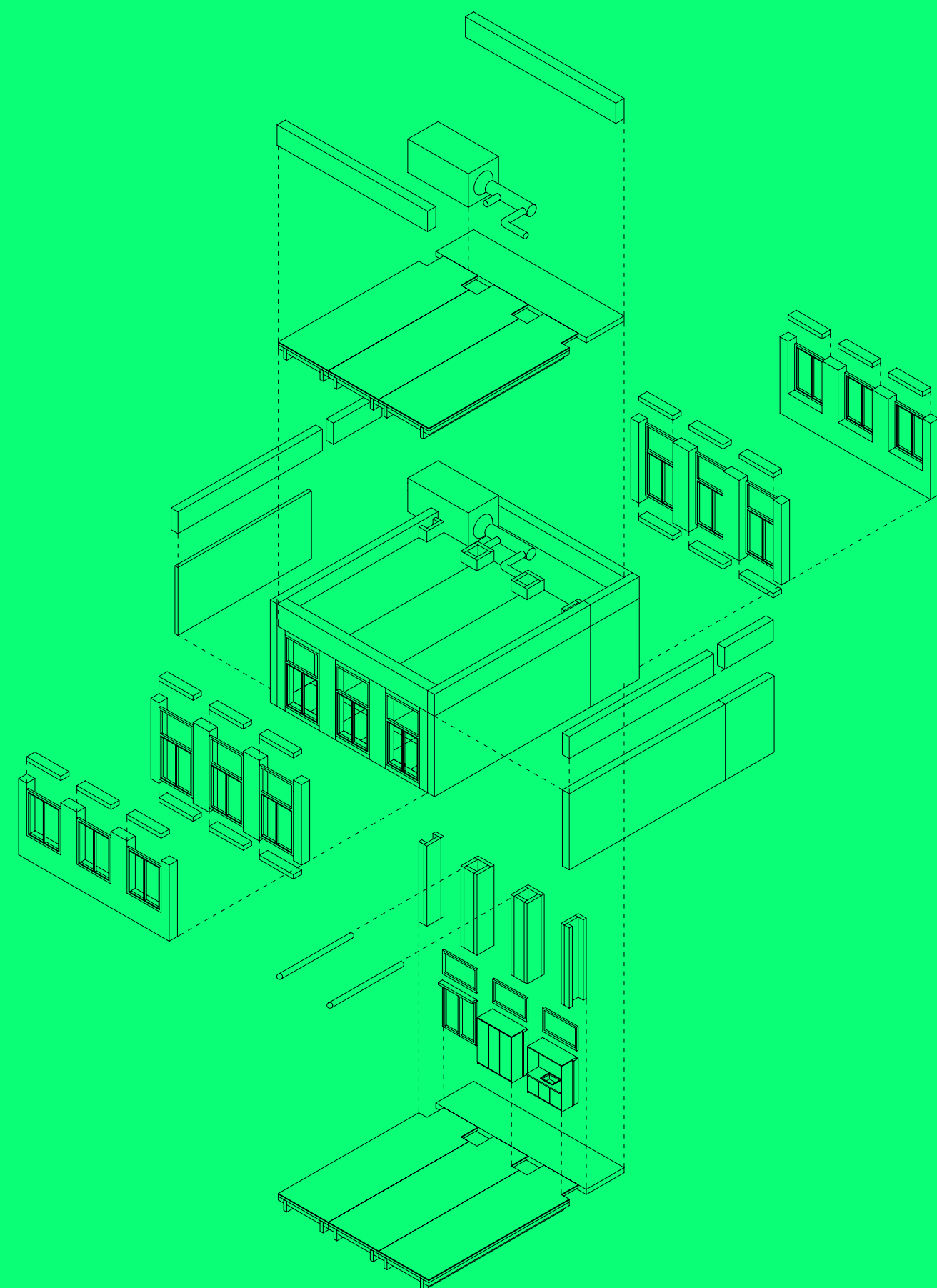


MO DUL R



VADE - MECUM

MATADOR - KIS STUDIO
Greisch
Détang
Daidalos Peutz
COAST
UCLouvain (Architecture
et Climat + Structures
& Technologies)
Avec Stabilame comme
partenaire industriel.

cellule.
archi,



FÉDÉRATION
WALLONIE-BRUXELLES



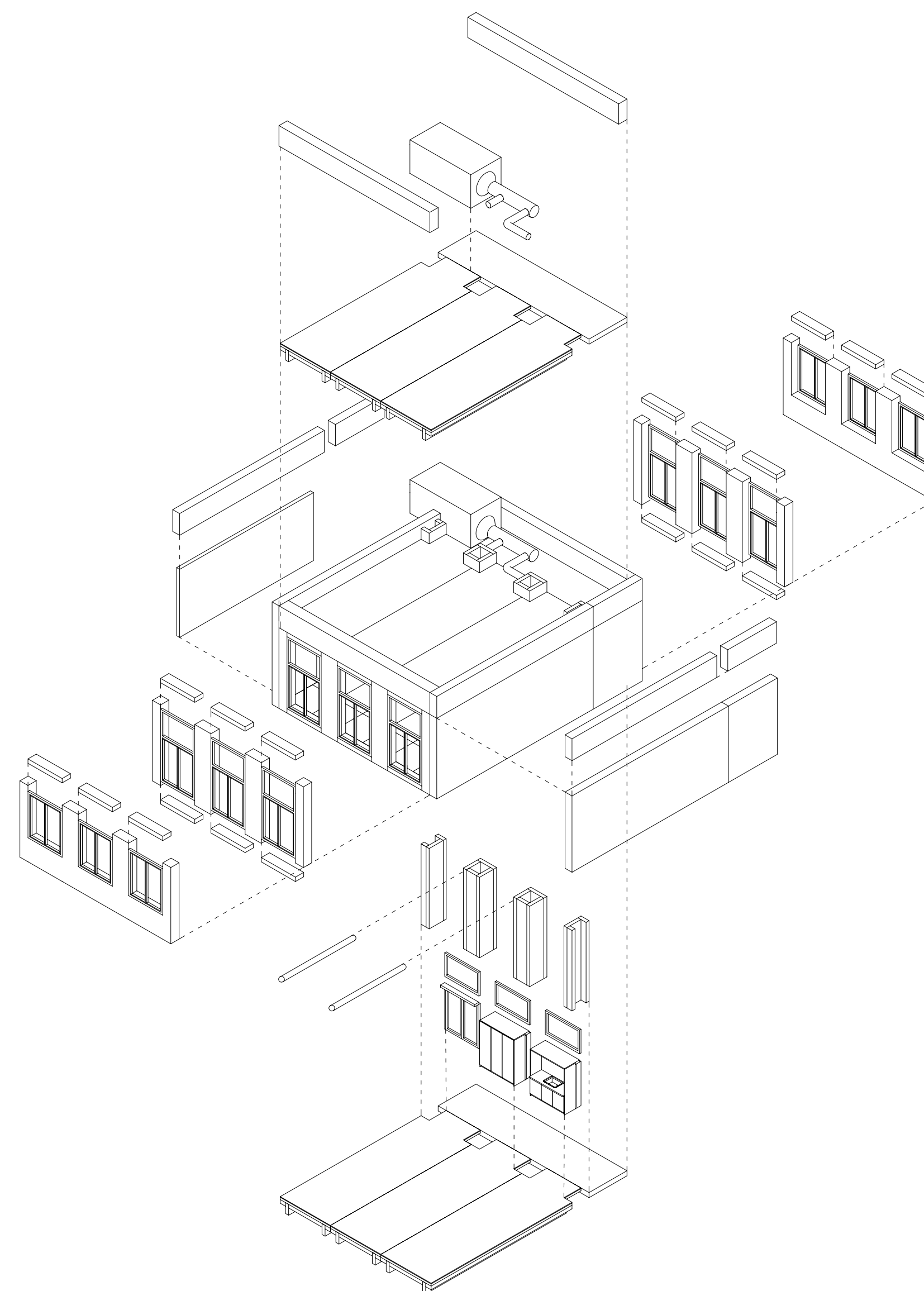
FÉDÉRATION
WALLONIE-BRUXELLES
ENSEIGNEMENT

Le système MODUL R est le résultat d'une mission de recherche/conception qui vise la construction de nouveaux établissements d'enseignement fondamental préfabriqués en Fédération Wallonie-Bruxelles. Cette mission a été initiée et est suivie par la FW-B - Cellule architecture, en collaboration avec la Direction générale des bâtiments et de la logistique de WBE.

La mission propose deux volets complémentaires : une recherche appliquée et une mise en œuvre de ses résultats dans un projet-pilote pour l'Athénée royal de La Louvière.

Produit par l'équipe de conception du système elle-même, le présent vade-mecum permet la reproductibilité du modèle par tout architecte et toute entreprise. Structuré en trois volumes, il offre la possibilité de réaliser sa propre école au départ du système MODUL R.

Les grands principes sont présentés dans la brochure introductive accompagnant le vade-mecum.



<u>VOLUME 1 – COMPOSITION</u>	<u>3</u>	<u>VOLUME 2 – CONSTITUTION</u>	<u>59</u>	<u>VOLUME 3 – CONSTRUCTION</u>	<u>139</u>
1.1 <u>PRINCIPES</u>	5	2.1 <u>CONCEPTS FONDAMENTAUX</u>	61	F / Acoustique	98
A / Des classes	5	A / Modularité et autonomie	61	I. Joints acoustiques	98
B / Des modules	7	B / Construction en bois	62	II. Planchers	99
C / Quatre étapes	10	C / Emboîtement d'échelles	63	III. Absorption acoustique	100
1.2 <u>CONVERTIR</u>	11	2.2 <u>ÉCHELLE 1: ENSEMBLES</u>	64	G / HVAC	101
A / Introduction	11	A / Programme	65	I. Type de système	101
B / Règles de conversion des modules de classe	12	B / Production	66	II. Ventilation - production	102
C / Modules de classe	13	C / Sites	67	III. Ventilation - distribution	103
1.3 <u>ASSEMBLER</u>	14	D / Hauteur	68	IV. Chauffage - production	104
A / Circulations horizontales	14	E / Performances visées	69	V. Chauffage - distribution	105
B / Circulations verticales	16	I. Acoustique	70	VI. Régulation	106
C / Grille	18	II. Sismique	71	H / Premier équipement	107
1.4 <u>COMPLÉTER</u>	21	III. Prévention incendie	72	I. Cloisons	107
A / Ajouter les espaces spécifiques	21	IV. Thermique	73	II. Électricité - module classe	108
B / Exemple	22	V. Éclairage naturel	74	III. Électricité - module couloir	109
1.5 <u>PARACHEVER</u>	23	VI. Surchauffe	75	IV. Sanitaire	110
A / Introduction	23	VII. Qualité de l'air intérieur et ventilation	76	I / Résultat	111
B / Intérieur	24	VIII. Impacts environnementaux, durée de vie et circularité	77	2.4 <u>ÉCHELLE 3: ÉLÉMENTS</u>	112
C / Extérieur	26	2.3 <u>ÉCHELLE 2: PARTIES</u>	79	A / Façades	113
1.6 <u>EXEMPLES</u>	28	A / Les modules génériques	80	I. Éléments de façade	113
A / Combinaisons de base	28	B / Optimisation	81	II. Châssis	114
B / 20 modules	32	C / Dimensions et circulation	82	III. Murs pignons	115
C / Organisation interne	47	I. Dimension du module de base	82	IV. Acrotères	116
D / Projet-pilote de La Louvière	50	II. Circulations horizontales	83	B / Piliers-gaines	117
1.7 <u>PRÊT À JOUER?</u>	57	III. Circulations verticales	84	C / Dalles	118
		D / Structure	85	I. Classes	118
		I. Autonomie	85	II. Couloirs	119
		II. Sens de portée	86	D / HVAC	120
		III. Types d'appuis	87	I. Production	120
		IV. Poutres et planchers	88	II. Distribution	121
		V. Sol	89	E / Cloisons intérieures	122
		E / Enveloppe	90	F / Mobilier	123
		I. Isolation	91	G / Signalétique	124
		II. Étanchéité à l'air	94	I. Principes	124
		III. Percements	95	II. Mise en place	125
		IV. Protections solaires	97	2.5 <u>MOCKUP</u>	126
				A / Vérifier	126
				B / Éprouver	138
				<i>Pas encore disponible.</i>	

Le premier volume du vade-mecum MODUL R décrit comment composer une école fondamentale à partir de modules préfabriqués dont les caractéristiques et principes constructifs seront explicités dans les volumes 2 et 3.

01

<u>VOLUME 1 – COMPOSITION</u>	3
1.1 <u>PRINCIPES</u>	5
A / Des classes	5
B / Des modules	7
C / Quatre étapes	10
1.2 <u>CONVERTIR</u>	11
A / Introduction	11
B / Règles de conversion des modules de classe	12
C / Modules de classe	13
1.3 <u>ASSEMBLER</u>	14
A / Circulations horizontales	14
B / Circulations verticales	16
C / Grille	18
1.4 <u>COMPLÉTER</u>	21
A / Ajouter les espaces spécifiques	21
B / Exemple	22
1.5 <u>PARACHEVER</u>	23
A / Introduction	23
B / Intérieur	24
C / Extérieur	26
1.6 <u>EXEMPLES</u>	28
A / Combinaisons de base	28
B / 20 modules	32
C / Organisation interne	47
D / Projet-pilote de La Louvière	50
1.7 <u>PRÊT À JOUER?</u>	57

Ce premier volume s'organise en 7 chapitres :

1. Principes

Le système MODUL R permet de composer des écoles à partir de trois types de modules: les modules de classe, les modules de circulation horizontale et les modules de circulation verticale. La composition fonctionne en quatre étapes: convertir, assembler, compléter et parachever.

2. Convertir

La première étape du processus de mise en place d'une école au départ du système MODUL R est la conversion d'un programme exprimé en m² en un programme exprimé en modules de classe préfabriqués.

3. Assembler

La deuxième étape est l'agencement des modules obtenus à la première étape autour de trois ingrédients principaux: la circulation horizontale, la circulation verticale et la grille de composition sur laquelle les modules viennent prendre position.

4. Compléter

La troisième étape intègre les espaces de l'école qui sont spécifiques et sortent du système MODUL R (préaux, cours, salles de sport, etc.).

5. Parachever

La quatrième étape introduit les finitions qui ne sont pas prises en charge par le système MODUL R (parement, cloisonnements intérieurs, etc.).

6. Exemples

Ce dernier chapitre illustre par des exemples en plan et en trois dimensions quelques écoles produites avec le système MODUL R.

7. Prêt à jouer ?

Afin de rendre le système MODUL R compréhensible par tous, un jeu a été développé par l'équipe de conception. Il s'adresse tant au personnel des écoles, aux administrations qu'aux enfants eux-mêmes!

MODUL R – CONDITIONS D'UTILISATION

20/04/2023

Développé sur base de financements publics, à l'initiative d'un pouvoir public et pour une mission d'utilité publique, MODUL R est un outil qualitatif et performant au service des citoyens.

Le Consortium qui a conçu le système et la FW-B sont les copropriétaires intellectuels de la recherche.

Les conditions d'utilisation telles que définies actuellement prévoient que l'usage de MODUL R est libre de droit pour tout projet de construction, modification ou rénovation d'une infrastructure accueillant un établissement scolaire officiellement reconnu par la Fédération Wallonie-Bruxelles.

L'utilisation du système MODUL R est ainsi réservée aux architectes développant des projets d'infrastructures scolaires pour un pouvoir organisateur de la FW-B et exerçant légalement la profession sous statut ou sous contrat d'emploi, pour le compte d'une entité, publique ou privée, officiellement reconnue par la FW-B en tant que pouvoir organisateur d'une institution d'enseignement.

Bien évidemment, faire appel au système MODUL R n'exempte en rien les porteurs d'un projet d'infrastructures, maîtres d'ouvrage et maître d'œuvre, de leurs responsabilités légales et pénales. Celles-ci demeurent pleines et entières et la FW-B ne peut être tenue responsable.

Plus d'informations :

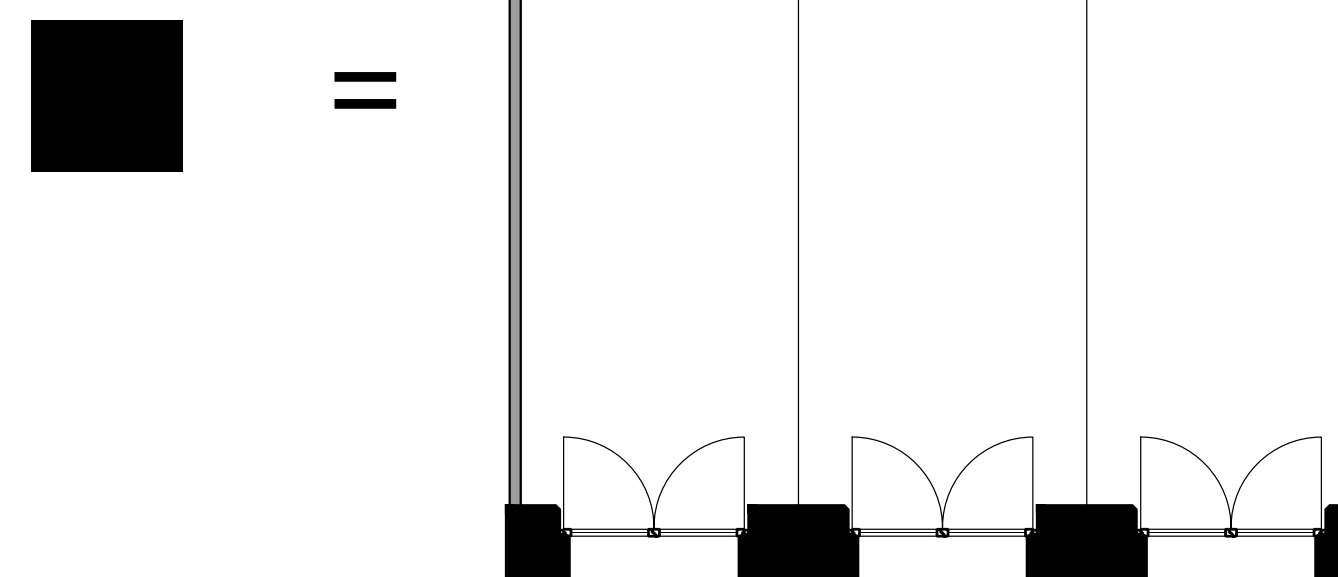
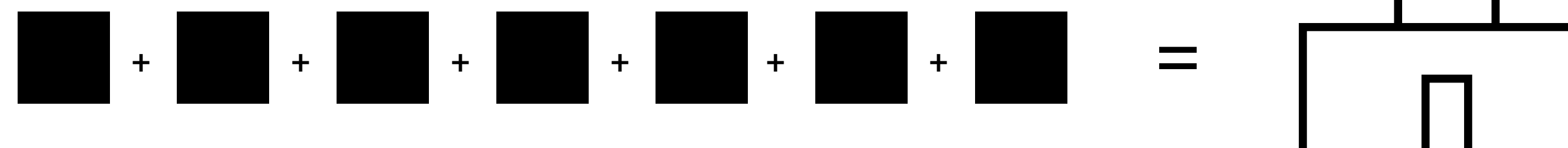
<https://cellule.archi/fr/marches/modul-r>
cellule.archi@cfwb.be

1.1 PRINCIPES

A / DES CLASSES

Le système MODUL R part du constat qu'une école peut être décomposée en modules répétitifs. Ces derniers sont eux-mêmes constitués d'éléments préfabriqués (des façades, des piliers, des planchers, des équipements techniques) comme on le découvrira dans les volumes II et III du vade-mecum.

Ainsi, les écoles MODUL R sont composées comme une combinaison de modules préfabriqués. Au cœur de ce système, on trouve le module de classe dont la combinatoire permet de générer une grande partie des espaces de vie d'une école.



UN MODULE DE " CLASSE " MODUL R

1.1 PRINCIPES

A / DES CLASSES

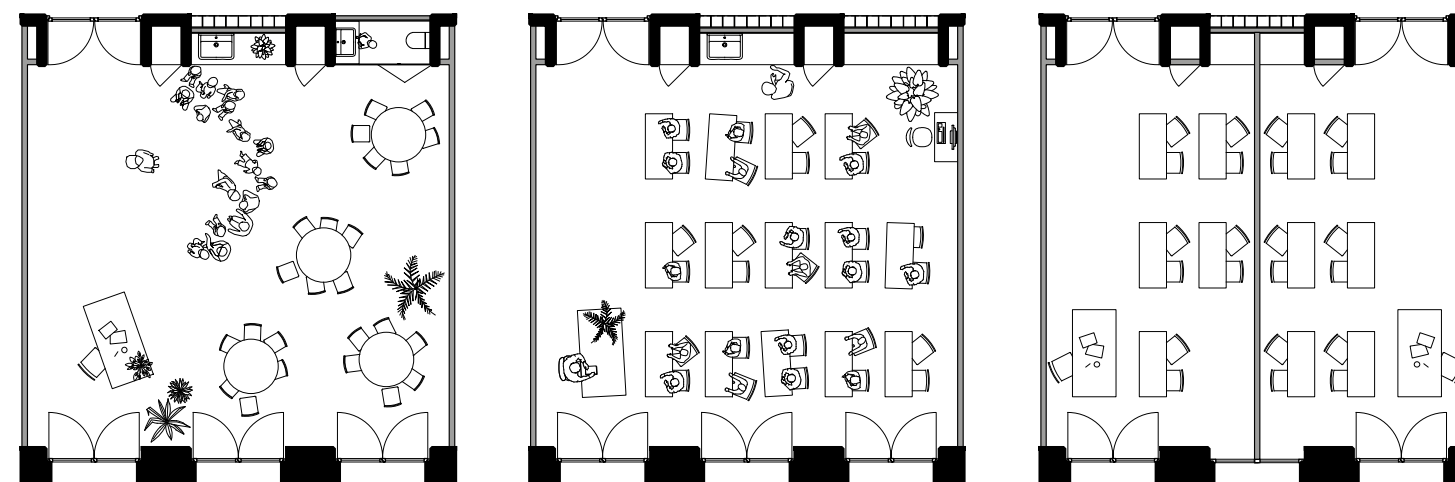
Au centre du système MODULR, on trouve donc le module de classe. Ce dernier, d'une dimension de 7.95m par 7.95m, a été réfléchi pour pouvoir accueillir une classe d'enseignement fondamental de 28 élèves et un enseignant. Lors de sa mise en place, le module n'a pas seulement été réfléchi pour accueillir des classes de primaires ou de maternelles. Il peut aussi :

- Se diviser en deux ou en trois pour former :
 - de plus petites classes de 30 m²;
 - des locaux sanitaires de 20 m²;
 - etc.
- Être combiné avec d'autres modules pour former :
 - un pôle administratif associant locaux de direction, secrétariat, local PMS et salle des professeurs;
 - un réfectoire ou une salle polyvalente;
 - etc.

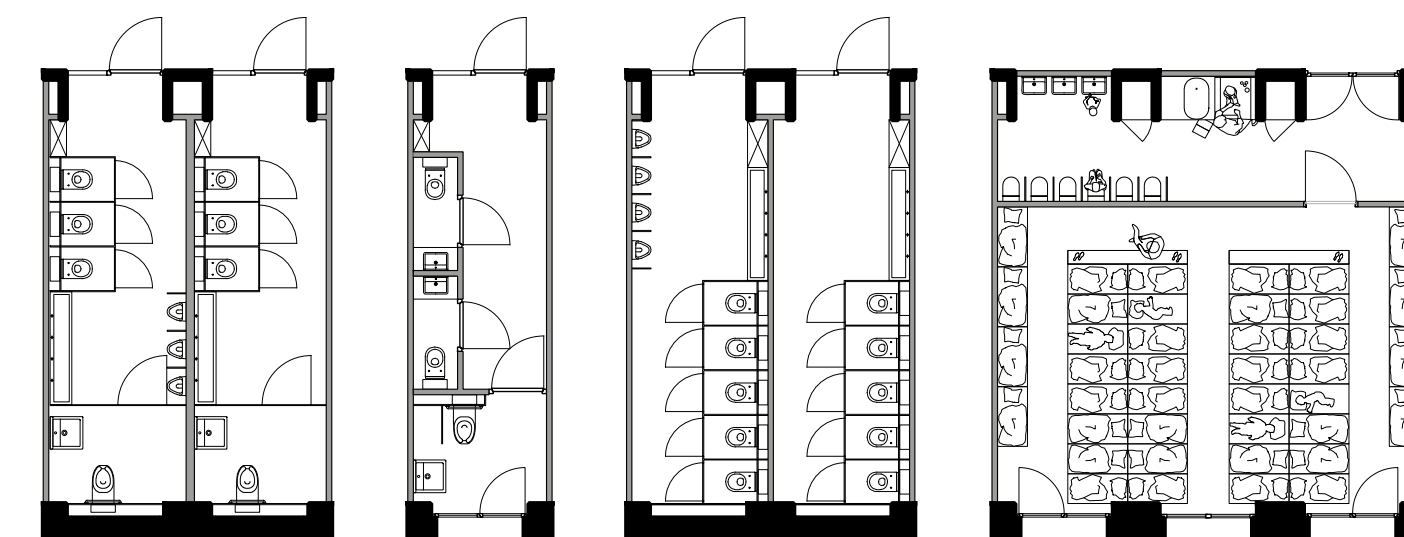
Ces réflexions illustrent comment le module de classe du système MODULR est capable de produire des espaces scolaires qui sont des multiples de 60 m² ou de 20 m² (ou éventuellement de 30 m²).

DIVISER

CLASSE

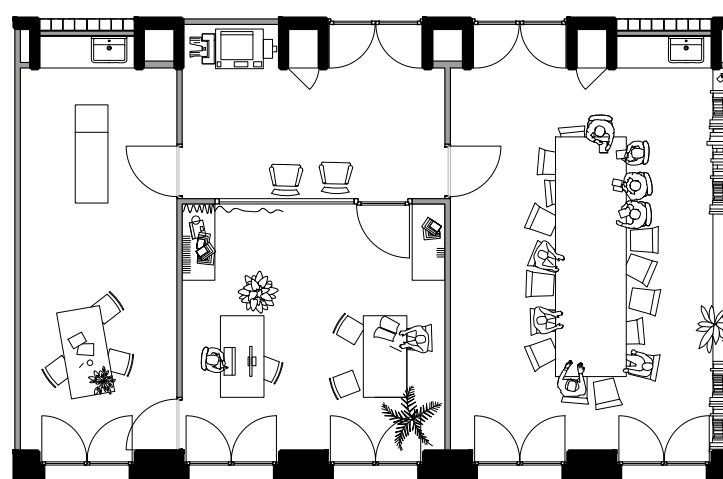
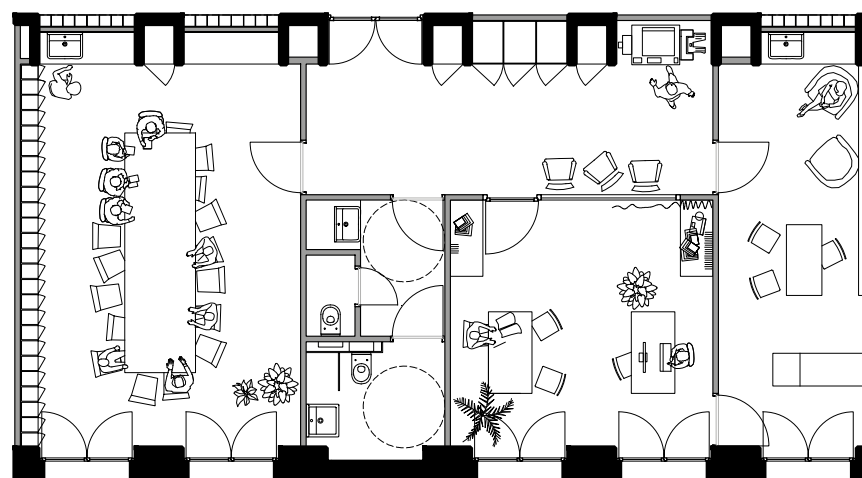


SANITAIRES & SIESTE

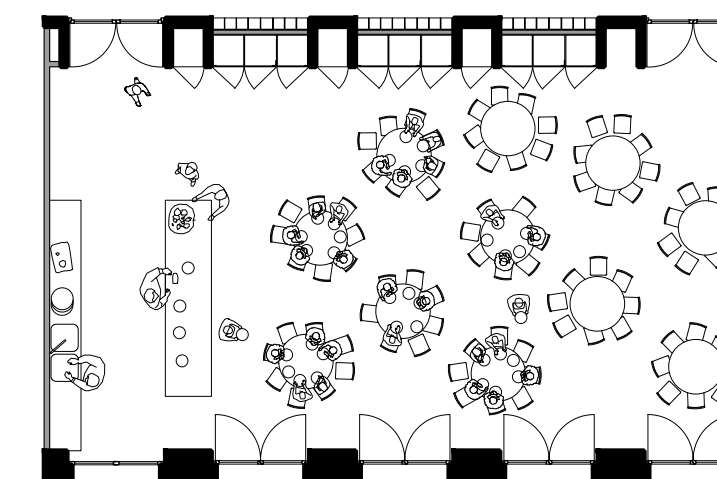
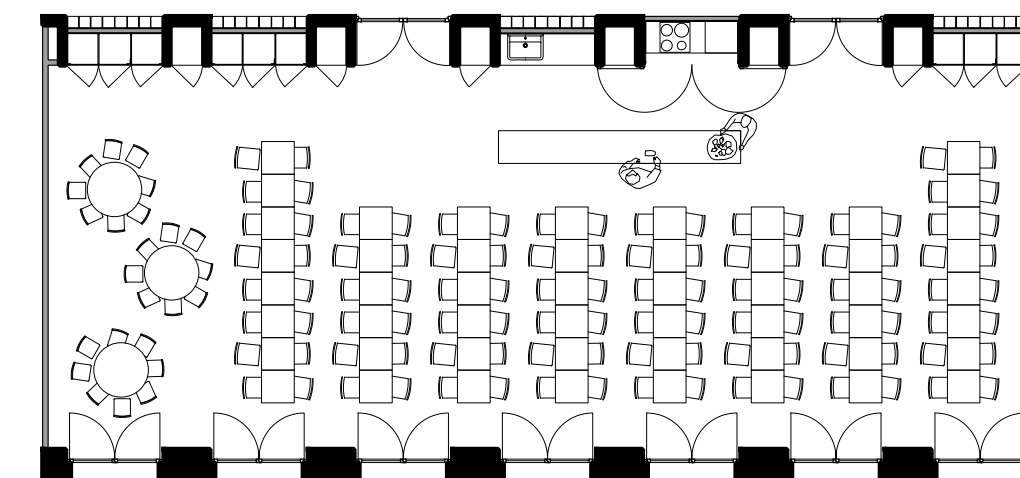


COMBINER

ADMINISTRATION & SALLE DES PROFS



RÉFECTOIRE



1.1 PRINCIPES

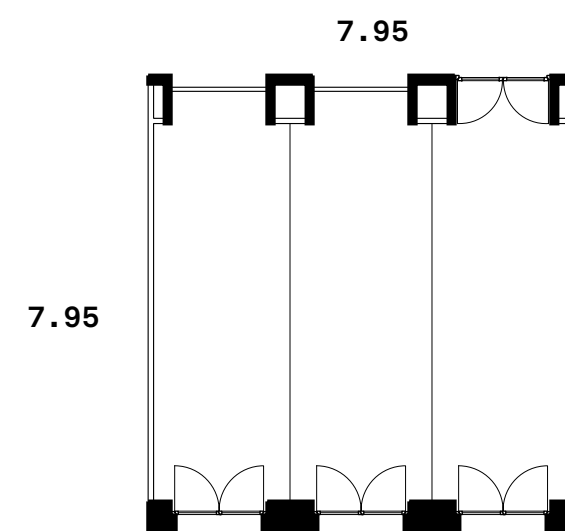
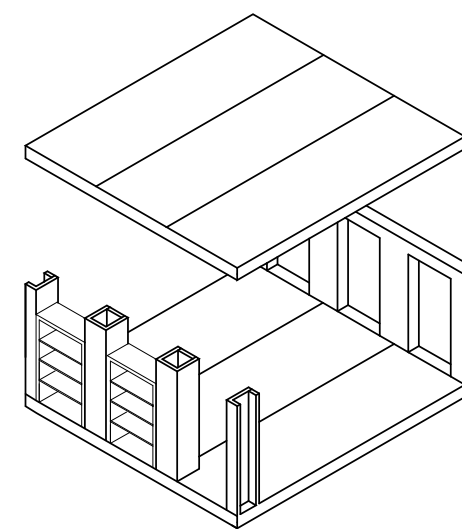
B / DES MODULES

Le module de classe n'est pas la seule partie préfabriquée dans le système MODUL R. Deux autres modules de circulation, horizontale et verticale, ont été développés pour compléter le système, qui compte donc trois modules préfabriqués standards. Ces trois types de modules se basent sur une dimension de 7.95m, mais ils connaissent aussi une version réduite à une travée de 2.65m. On trouve ainsi :

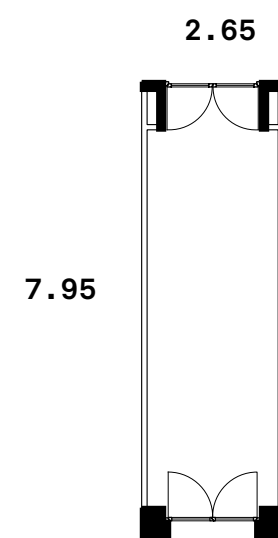
- Les modules « classe »
 - Tiers (20m^2) de 2.65m par 7.95m sur 3.5m de haut
- Les modules « circulation horizontale »
 - Complets (20m^2) de 2.65m par 7.95m sur 3.5m de haut
 - Tiers (7m^2) de 2.65m par 2.65m sur 3.5m de haut
- Les modules « circulation verticale »
 - Complets (20m^2) de 2.65m par 7.95m sur 7m de haut, comprenant un escalier droit de 1.20m de large
 - Tiers de modules (7m^2) de 2.65m par 2.65m sur 7m de haut, permettant d'accueillir un ascenseur

Ces trois modules de base sont appelés les parties « génériques » du système MODUL R.

MODULE « CLASSE »

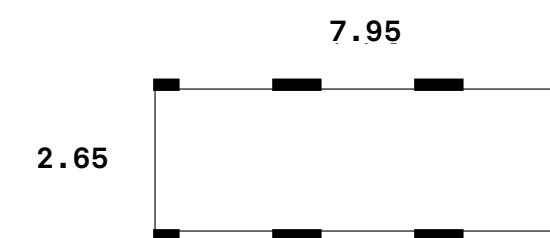
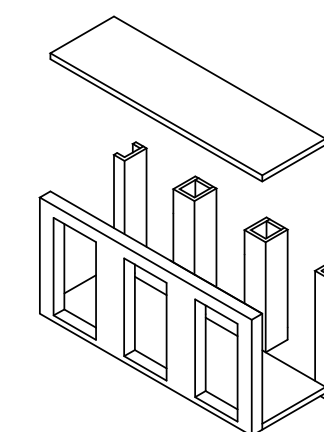


MODULE ENTIER

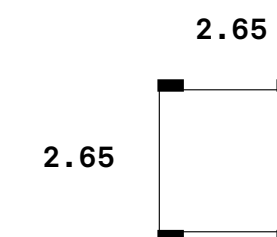


1/3 MODULE

MODULE « CIRCULATION HORIZONTALE »

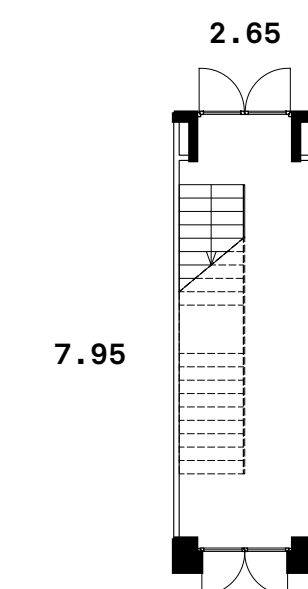
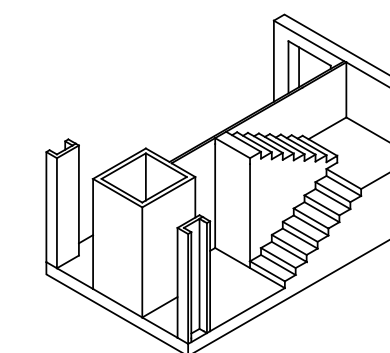


COULOIR ENTIER

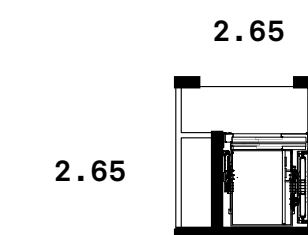


1/3 COULOIR

MODULE « CIRCULATION VERTICALE »



ESCALIER



ASCENSEUR

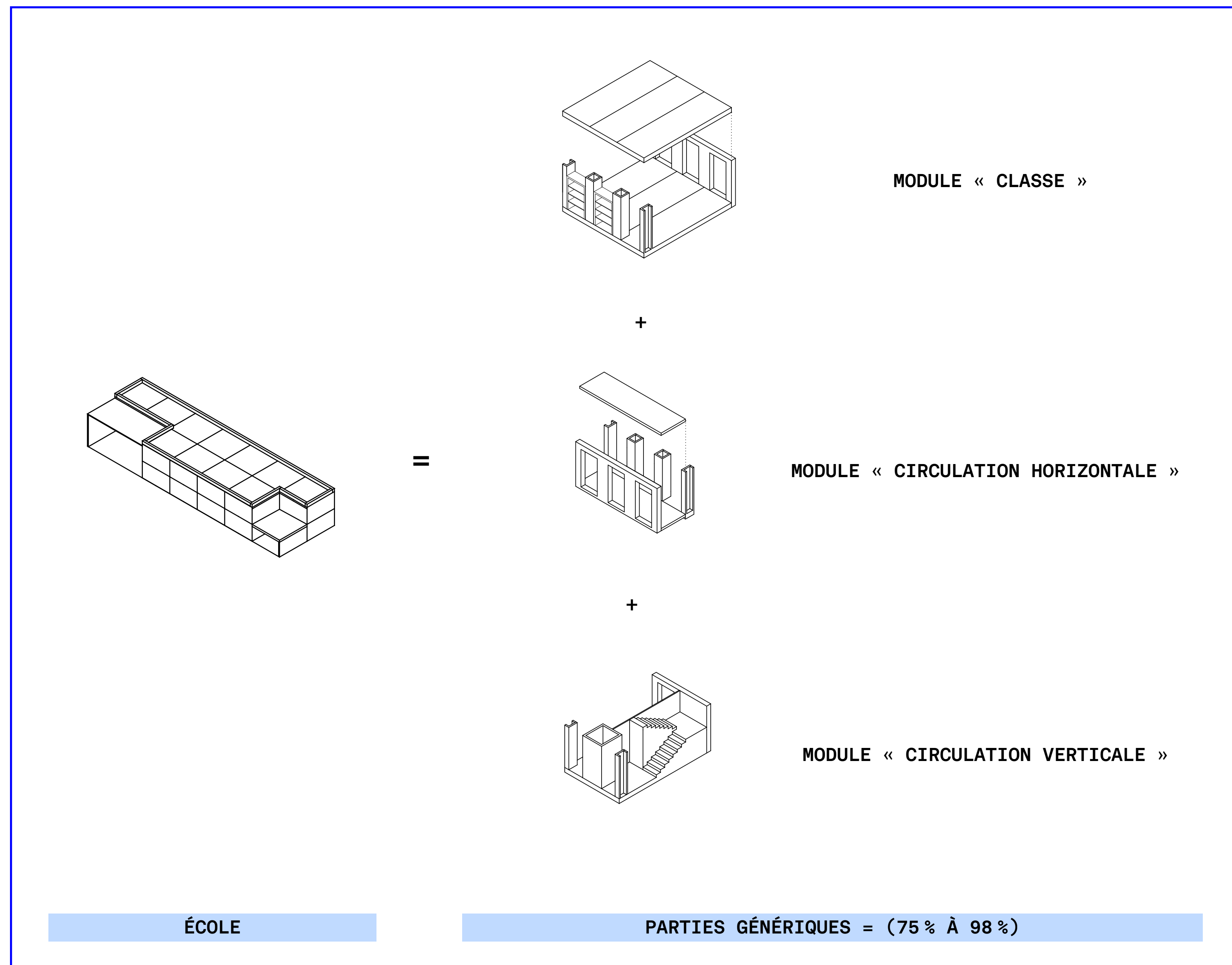
PARTIES GÉNÉRIQUES

1.1 PRINCIPES

B / DES MODULES

L'analyse de programmes d'écoles fondamentales d'enseignement ordinaire de la FW-B et leur confrontation au système MODUL R a permis de mettre en évidence que la plupart des espaces intérieurs d'une école sont réalisables à partir des parties génériques, soit par leur combinaison, soit par leur fractionnement.

Cette analyse a permis de démontrer qu'entre 75% et 98% des espaces de ces programmes standards peuvent être réalisés au départ de modules génériques MODUL R.

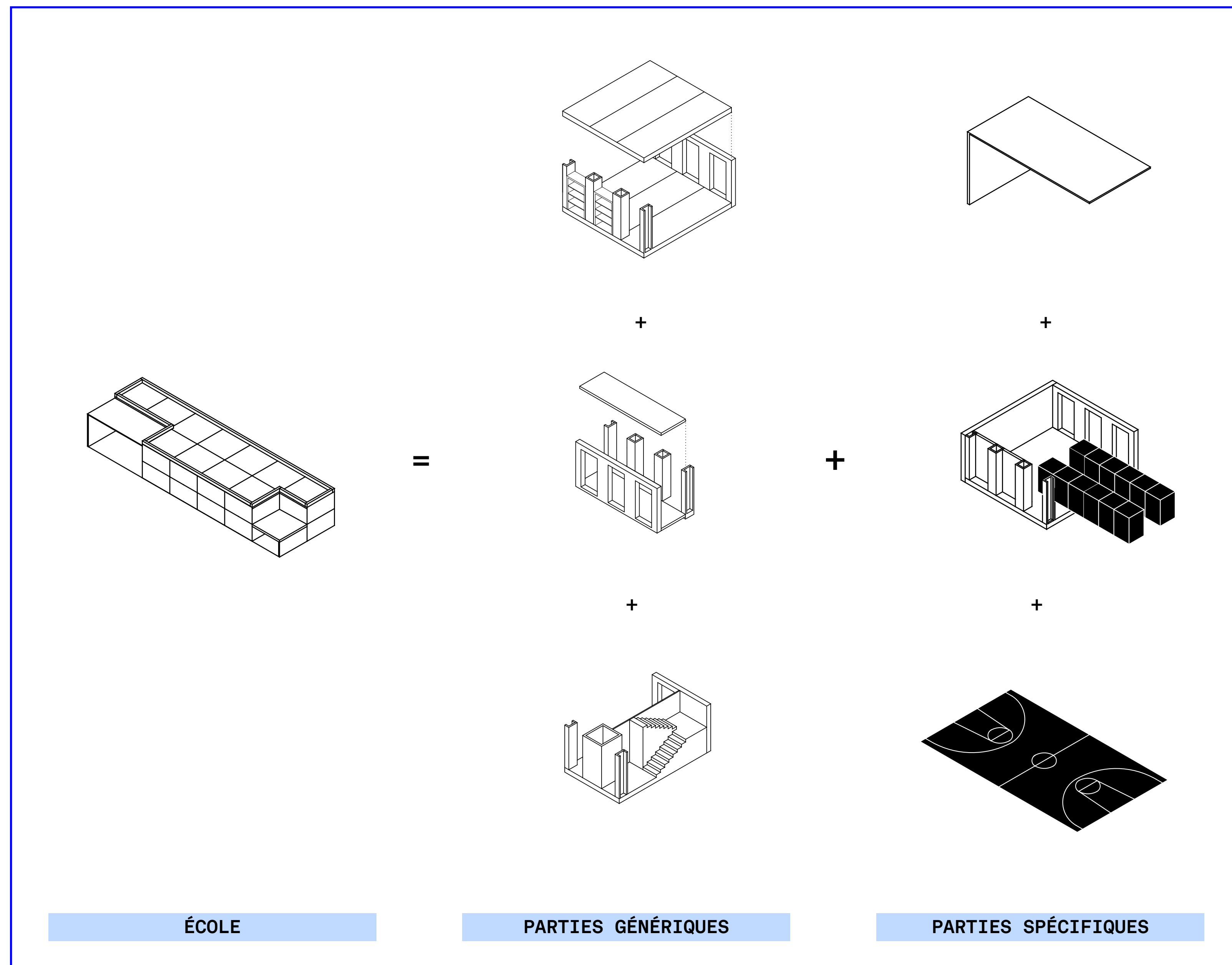


1.1 PRINCIPES

B / DES MODULES

Si la majorité des espaces peuvent être fabriqués via une combinaison de modules du système MODUL R, ils seront complétés :

- pour les espaces intérieurs, par des espaces « spécifiques » qui sortent de la logique de préfabrication pour des raisons de taille ou de trop grande spécificité technique (p. ex., salle de sport, conciergerie, cuisine industrielle). Comme nous venons de le voir, sur le total des surfaces intérieures d'une école, leur proportion est faible;
- pour les espaces extérieurs, par des cours couvertes ou non. Ces surfaces extérieures restent une question parallèle qui n'est pas traitée par le système de préfabrication MODUL R.



1.1 PRINCIPES

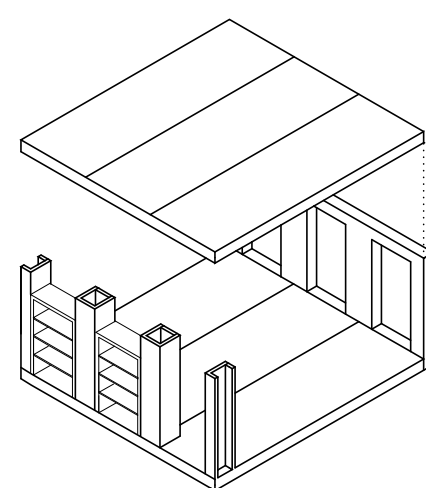
C / QUATRE ÉTAPES

Le processus de conception du système MODUL R fonctionne en quatre étapes successives :

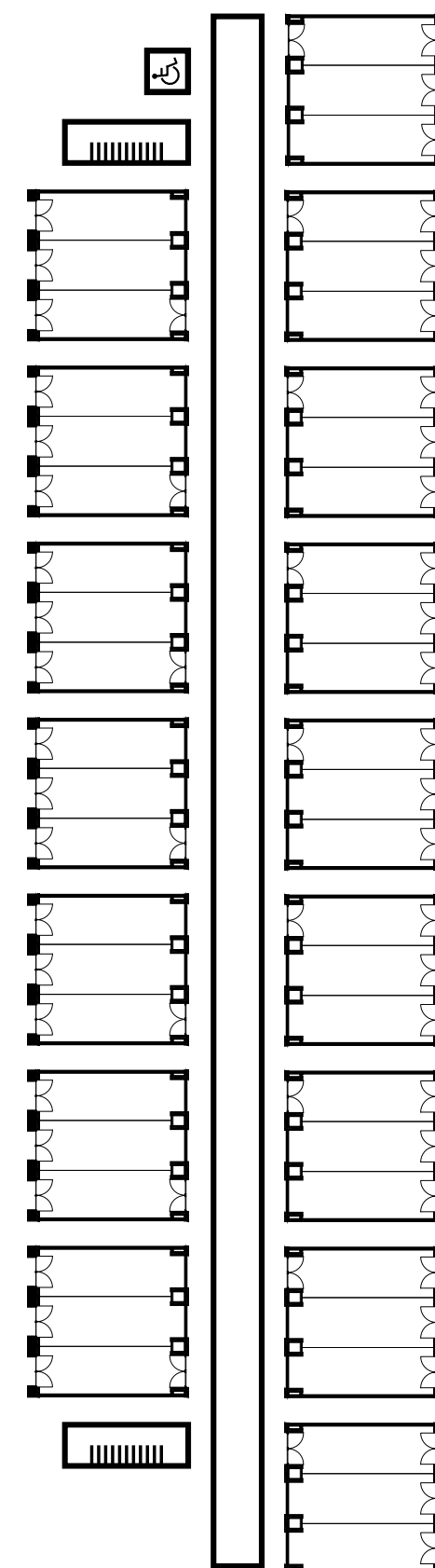
1. convertir le programme scolaire en modules génériques;
2. assembler les modules génériques en une première esquisse de l'école;
3. compléter la composition avec les éléments spécifiques;
4. parachever le volume obtenu avec une série de finitions intérieures et extérieures (p. ex., sols, parements, mobilier, cloisonnements intérieurs, etc.).

1. CONVERTIR

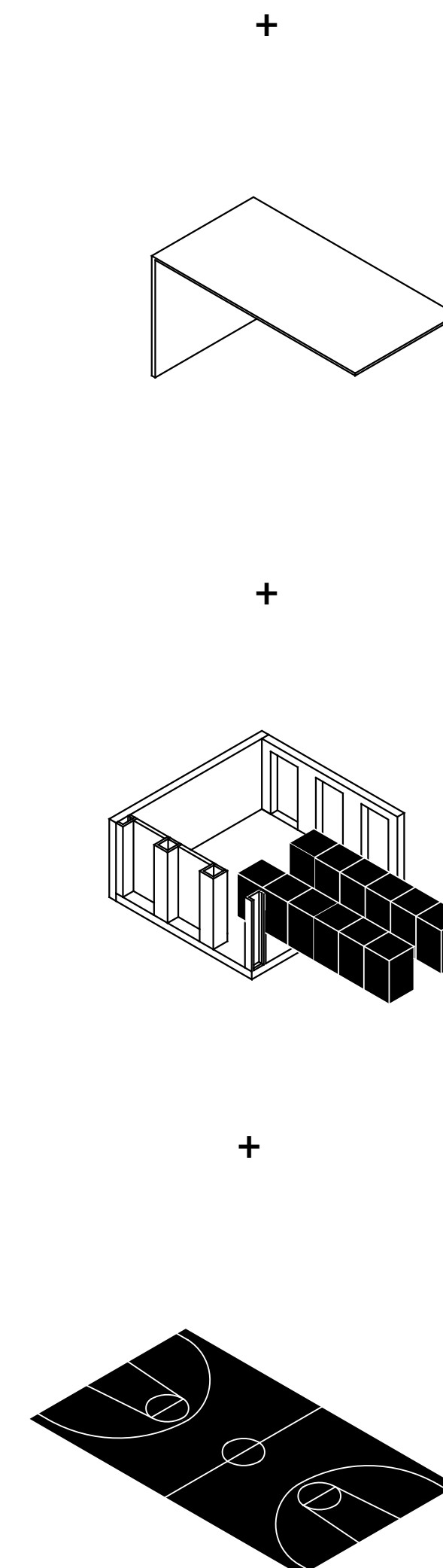
PROGRAMME INITIAL			
SURFACES INTÉRIEURES			
LOCAL	NOMBRE	SURFACE NETTE/LOCAL	TOTAL
CLASSES			
Classes	9	60	540
Classe polyvalente	1	34	34
Classe informatique	2	58	116
COMMUNS			
Sanitaires	4	18	72
Réfectoire-cuisine	1	171	171
Espace polyvalent	1	43	43
Psychomotricité	1	42	42
Rangement gymnastique	1	42	42
Vestiaires gymnastique	3	24	72
Salle de gymnastique	1	225	225
ADMINISTRATION			
Direction + 1 bureau	1	60	60
Salle des professeurs	1	30	30
Sanitaire personnel	1	24	24
Archives, stock, poubelles	1	62	62
Entretien	3	6	18
Local technique	1	52	52
Logement concierge	1	130	130
TOTAL INTÉRIEUR NET			1733



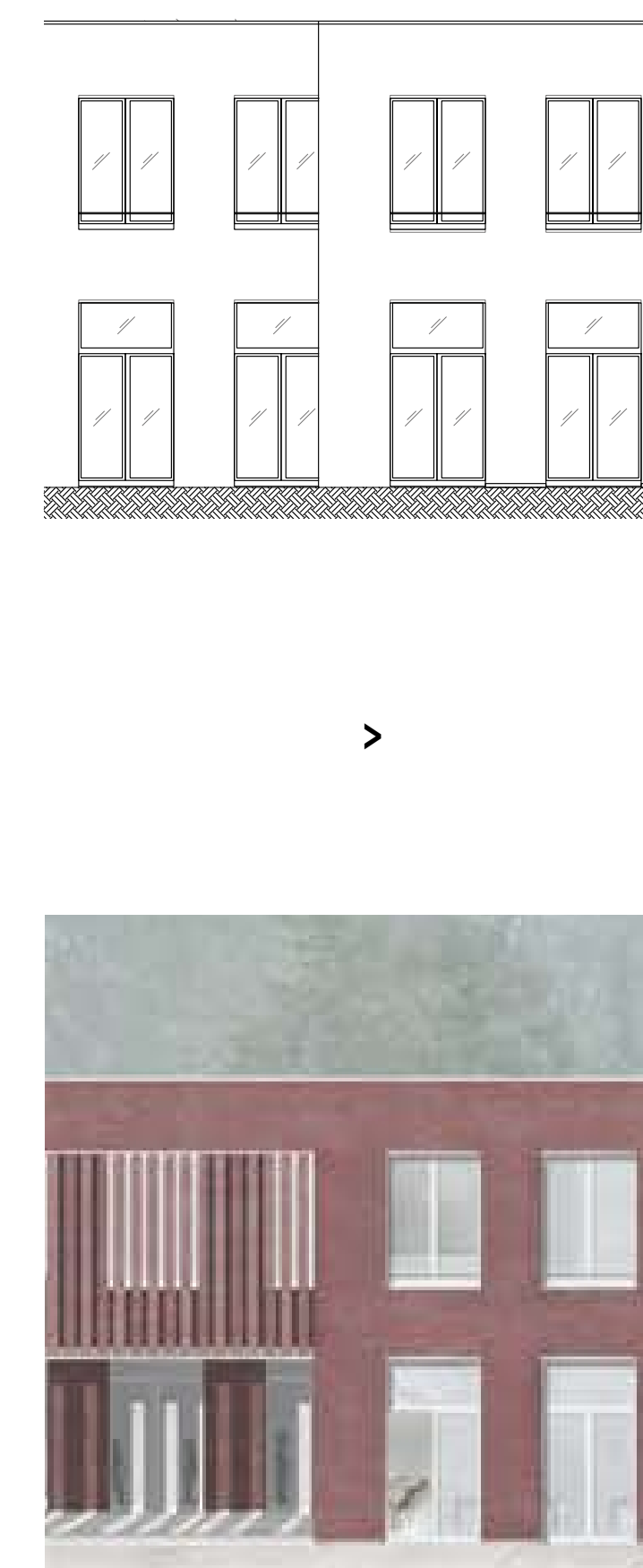
2. ASSEMBLER



3. COMPLÉTER



4. PARACHEVER



1.2 CONVERTIR

A / INTRODUCTION

Un programme scolaire fondamental se présente généralement sous la forme d'un tableau qui précise :

- les fonctions de l'école (intérieures et extérieures) correspondant à des espaces;
- leur nombre;
- leurs surfaces nettes.

La première étape de conception du système MODUL R consiste à traduire ce programme et ces surfaces nettes en modules de classe.

À ce stade, la question de la circulation dans l'école n'est pas encore présente. Cette question apparaîtra à l'étape suivante (cf. volume I, chapitre « assembler »).

PROGRAMME INITIAL

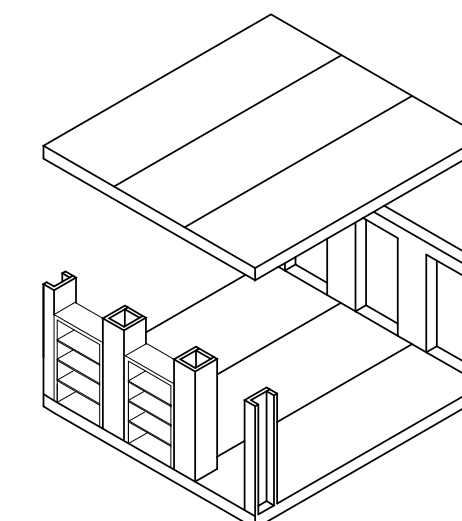
SURFACES INTÉRIEURES

LOCAL	NOMBRE	SURFACE NETTE/LOCAL	TOTAL
CLASSES			
Classes	9	60	540
Classe polyvalente	1	34	34
Classe informatique	2	58	116
COMMUNS			
Sanitaires	4	18	72
Réfectoire-cuisine	1	171	171
Espace polyvalent	1	43	43
Psychomotricité	1	42	42
Rangement gymnastique	1	42	42
Vestiaires gymnastique	3	24	72
Salle de gymnastique	1	225	225
ADMINISTRATION			
Direction + 1 bureau	1	60	60
Salle des professeurs	1	30	30
Sanitaire personnel	1	24	24
Archives, stock, poubelles	1	62	62
Entretien	3	6	18
Local technique	1	52	52
Logement concierge	1	130	130
TOTAL INTÉRIEUR NET			1733

SURFACES EXTÉRIEURES*

LOCAL	ÉLÈVES	SURFACE/ÉLÈVE	TOTAL
Préau	150	0,7	105
Cours de récréation	150	4	600

*Pour rappel, en cas de subvention par la FW-B, la surface brute maximale d'un bâtiment scolaire et les ratios de m²/élèves des surfaces extérieures sont fixés par l'arrêté relatif aux normes physiques et financières. Ce sont ces surfaces que MODUL R a pris pour référence.



**NOMBRE DE MODULES
"CLASSE"?**

1.2 CONVERTIR

B / RÈGLES DE CONVERSION DES MODULES DE CLASSE

Le calcul du nombre de modules de classe se fait en transposant chaque espace du programme de base en multiples de 20, 30 ou 60m². Pour ce faire, quelques règles de conversion ont été mises au point :

- chaque espace est converti en arrondissant sa surface au multiple le plus proche de 1/3, de 1/2 ou d'un module entier (p. ex., 18m² du programme de base deviennent 1/3 de module, soit 20m², tandis que 51m² deviennent un module complet, soit 60m²);
- le total de modules de classe par type d'espace (classes, espaces communs, espaces d'administration) est toujours un nombre entier afin de simplifier les assemblages pour la suite.

Partant de ces règles de conversion, la transposition du programme scolaire dans le système MODULR aboutit dans un premier temps à un nombre entier de modules de classe.

PROGRAMME INITIAL			
SURFACES INTÉRIEURES			
LOCAL	NOMBRE	SURFACE NETTE/LOCAL	TOTAL
CLASSES			
Classes	9	60	540
Classe polyvalente	1	34	34
Classe informatique	2	58	116
COMMUNS			
Sanitaires	4	18	72
Réfectoire-cuisine	1	171	171
Espace polyvalent	1	43	43
Psychomotricité	1	42	42
Rangement gymnastique	1	42	42
Vestiaires gymnastique	3	24	72
Salle de gymnastique	1	225	225
ADMINISTRATION			
Direction + 1 bureau	1	60	60
Salle des professeurs	1	30	30
Sanitaire personnel	1	24	24
Archives, stock, poubelles	1	62	62
Entretien	3	6	18
Local technique	1	52	52
Logement concierge	1	130	130
TOTAL INTÉRIEUR NET			1733
SURFACES EXTÉRIEURES			
LOCAL	ÉLÈVES	SURFACE/ÉLÈVE	TOTAL
Préau	150	0,7	105
Cours de récréation	150	4	600

TRANSPPOSITION MODUL R						
GÉNÉRIQUES		+	SPÉCIFIQUES		=	TOTAL
MODULE	SURFACE NETTE		SURFACE NETTE			TOTAL
CLASSES						
9	540					540
0,5	30					30
2	120					120
COMMUNS						0
1,33	80					80
3	180					180
0,67	40					40
0,67	40					40
0,67	40					40
1	60					60
			225			225
ADMINISTRATION						0
1	60					60
0,5	30					30
0,33	20					20
1	60					60
0,33	20					20
1	60					60
			130			130
23	1380		355			1735
= 23 MODULES « CLASSE » + 355 M ²						



1.2 CONVERTIR

C / MODULES DE CLASSE

Cette première transposition permet d'obtenir un nombre entier de modules de classe. À ce stade, peu importe que :

- ces modules soient de rez-de-chaussée ou d'étage;
- ces modules soient flanqués ou non d'un espace de circulation.

Cette distinction apparaîtra lors de l'étape suivante qui a pour but de combiner les modules entre eux.

PROGRAMME INITIAL

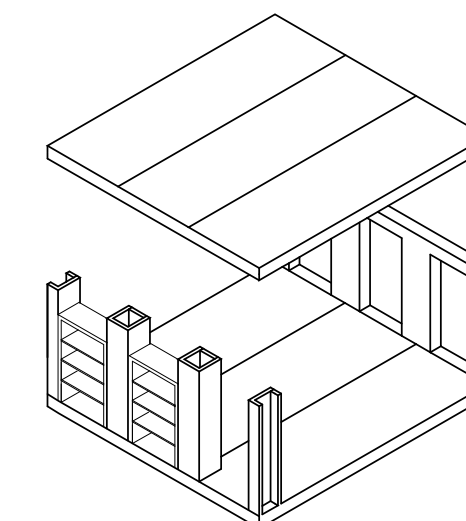
SURFACES INTÉRIEURES

LOCAL	NOMBRE	SURFACE NETTE/LOCAL	TOTAL
CLASSES			
Classes	9	60	540
Classe polyvalente	1	34	34
Classe informatique	2	58	116
COMMUNS			
Sanitaires	4	18	72
Réfectoire-cuisine	1	171	171
Espace polyvalent	1	43	43
Psychomotricité	1	42	42
Rangement gymnastique	1	42	42
Vestiaires gymnastique	3	24	72
Salle de gymnastique	1	225	225
ADMINISTRATION			
Direction + 1 bureau	1	60	60
Salle des professeurs	1	30	30
Sanitaire personnel	1	24	24
Archives, stock, poubelles	1	62	62
Entretien	3	6	18
Local technique	1	52	52
Logement concierge	1	130	130
TOTAL INTÉRIEUR NET			1733

SURFACES EXTÉRIEURES

LOCAL	ÉLÈVES	SURFACE/ÉLÈVE	TOTAL
Préau	150	0,7	105
Cours de récréation	150	4	600

>



23 MODULES « CLASSE » !

1.3 ASSEMBLER

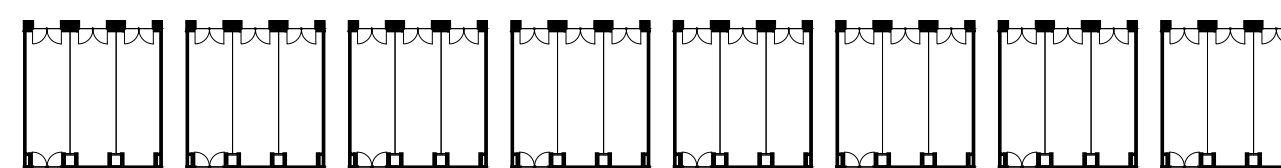
A / CIRCULATIONS HORIZONTALES

Une fois établi le nombre de modules de classe, c'est leur agencement qui va déterminer le nombre de modules de circulation.

Pour les modules de circulation horizontale, un critère de composition important est le ratio surface brute/surface nette du bâtiment. Il est possible de comparer les ratios de quelques compositions de base en considérant une disposition de classes sur un niveau dans un premier temps. Ainsi, on obtiendrait :

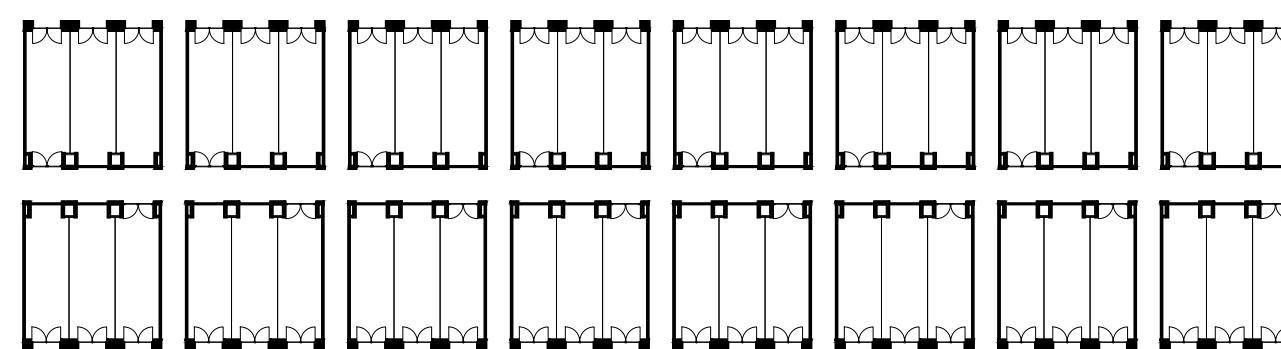
- un ratio de 1.70 dans le cas de modules de classe assemblés avec un couloir de 2.65m de large sur le côté;
- un ratio de 1.45 dans le cas de modules de classe disposés de part et d'autre d'un couloir central de 2.65m de large;
- un ratio de 1 pour des écoles qui ne présenteraient tout simplement pas de couloir, mais uniquement des modules de classe accessibles depuis l'extérieur.

Ce sont principalement des raisons d'économie (plus le ratio diminue, moins le nombre de m² total de l'école est important) qui dicteront les choix liés à la circulation. Étant donné le ratio de 1.60 généralement pratiqué dans la conception d'une école, on constate qu'il existe une marge dans les compositions possibles puisque ce ratio permettrait de s'écarter, par exemple, d'une composition qui alignerait simplement deux classes en vis-à-vis autour d'un couloir (ratio de 1.45).



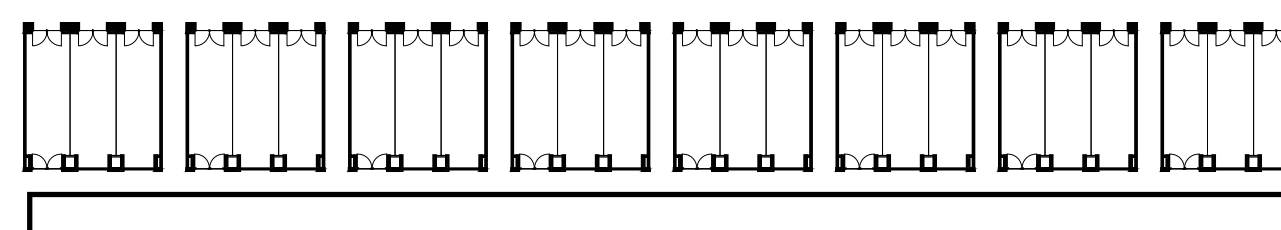
$$S_{BRUTE}/S_{NETTE} = 1$$

SANS COULOIR, UN SEUL CÔTÉ



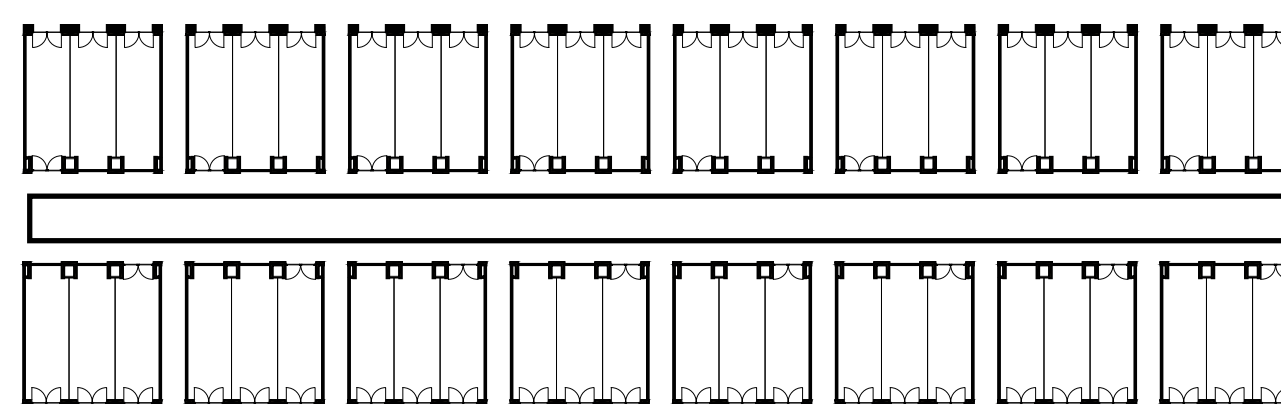
$$S_{BRUTE}/S_{NETTE} = 1$$

SANS COULOIR, DEUX CÔTÉS



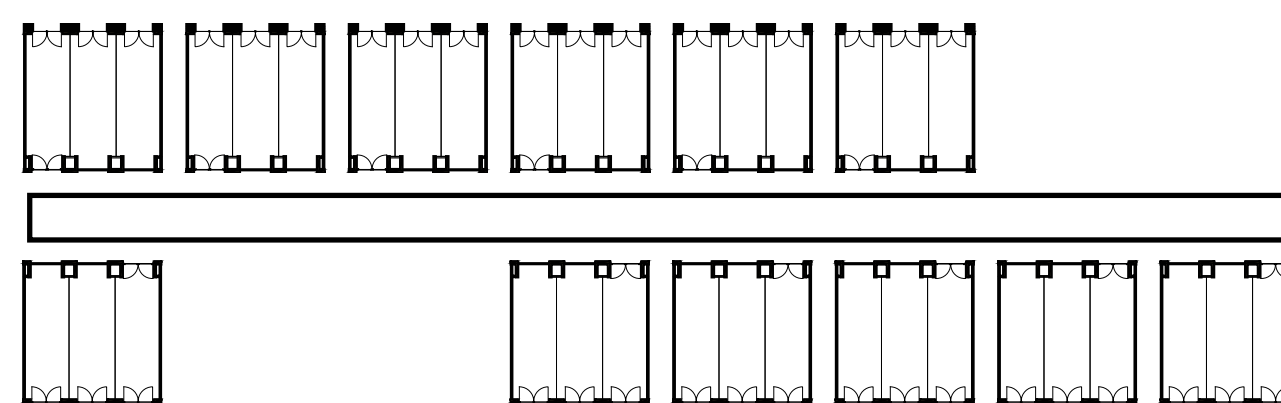
$$S_{BRUTE}/S_{NETTE} = 1.70$$

AVEC COULOIR, UN SEUL CÔTÉ



$$S_{BRUTE}/S_{NETTE} = 1.45$$

AVEC COULOIR, DEUX CÔTÉS



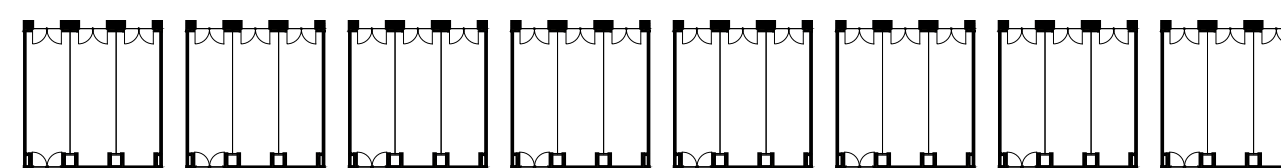
$$S_{BRUTE}/S_{NETTE} = 1.50$$

COMPOSITION MIXTE

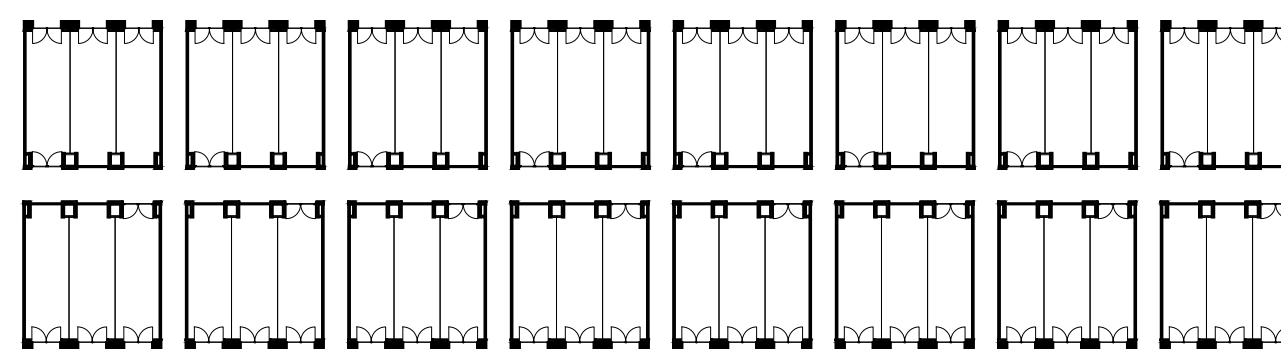
1.3 ASSEMBLER

A / CIRCULATIONS HORIZONTALES

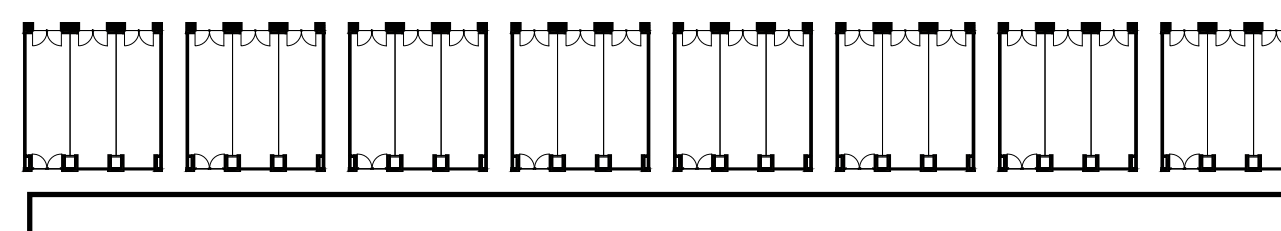
Ces premiers choix d'agencement des modules de classe entre eux permettent de déterminer le nombre de modules de circulation horizontale à mettre en œuvre. Ce choix doit bien sûr être combiné à celui du nombre de niveaux – 1 ou 2 – que l'on imagine pour l'école. Cette décision est à la base du paragraphe suivant : « circulations verticales ».



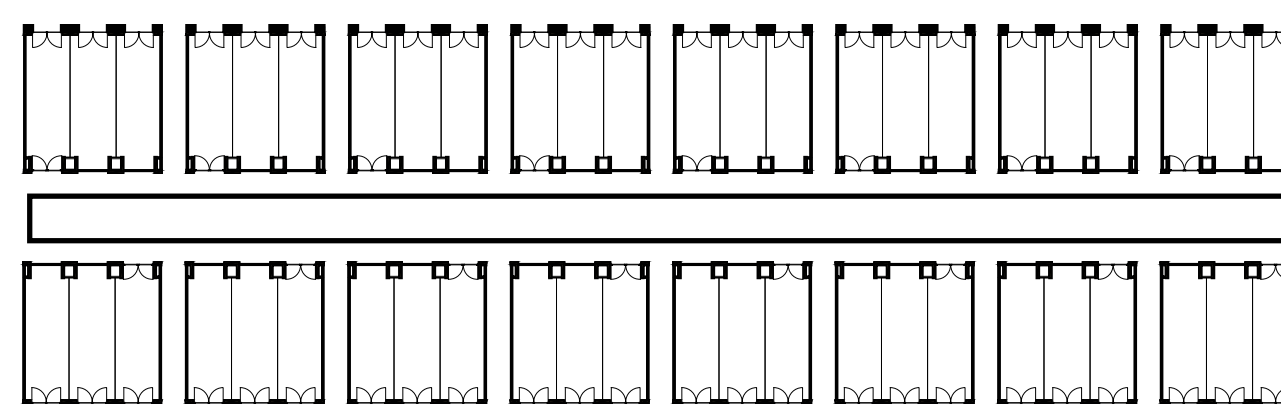
$$S_{BRUTE}/S_{NETTE} = 1$$



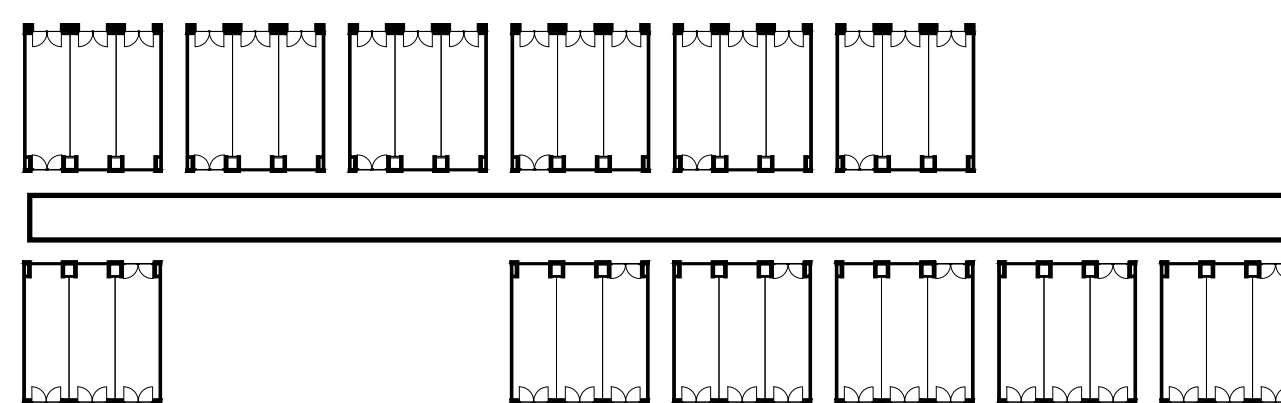
$$S_{BRUTE}/S_{NETTE} = 1$$



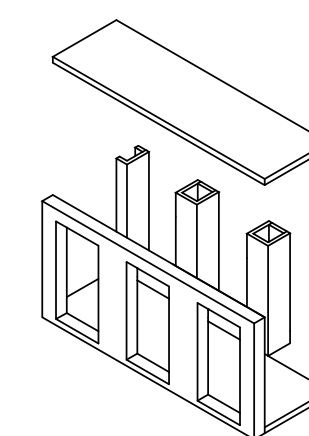
$$S_{BRUTE}/S_{NETTE} = 1.70$$



$$S_{BRUTE}/S_{NETTE} = 1.45$$



$$S_{BRUTE}/S_{NETTE} = 1.50$$



8 MODULES « CIRCULATION HORIZONTALE » !

1.3 ASSEMBLER

B / CIRCULATIONS VERTICALES

La question de la composition générale des modules de classe est également conditionnée par le choix du nombre de niveaux que l'on imagine pour l'école. Le système MODUL R permet de mettre en place des écoles de deux niveaux maximum. Les raisons de cette limitation sont développées dans le deuxième volume du vade-mecum (cf. volume II, chapitre « échelle 1: ensembles-hauteur »).

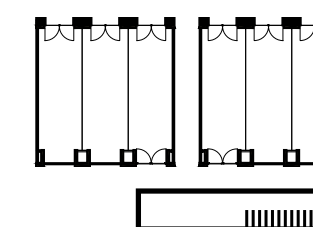
S'il est fait le choix de deux niveaux, alors des modules de circulation verticale doivent être mis en place. Outre des modules « escalier », il faudra prévoir un module intégrant un ascenseur pour permettre l'accès à l'étage aux personnes à mobilité réduite (PMR).

Pour les modules « escalier », leur nombre est directement induit par les normes de prévention et d'évacuation incendie :

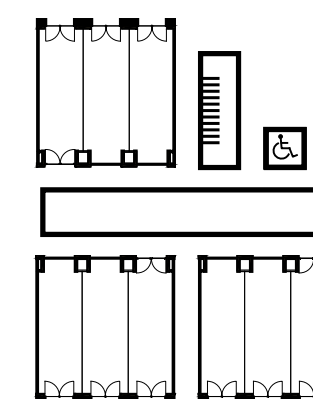
- dans le cas d'une école sans couloir, il faudra prévoir un module « escalier » pour desservir une ou deux classes à l'étage, un double palier permettant alors de desservir deux classes. Ou alors, l'ajout d'un élément spécifique type coursive extérieure permettant de desservir l'étage;
- dans le cas d'une école avec couloir, le nombre de modules « escalier » dépend du nombre de modules de classe desservis à l'étage :

- 1 module « escalier » pour 1 à 3 modules de classe (occupation inférieure à 100 personnes),
- 2 modules « escalier » pour 3 à 17 modules de classes (occupation entre 100 et 500 personnes),
- 3 modules « escalier » pour 18 à 34 modules de classes (occupation entre 500 et 1000 personnes),
- 4 modules « escalier » pour 35 à 68 modules de classes (occupation entre 1000 et 2000 personnes),
- etc.

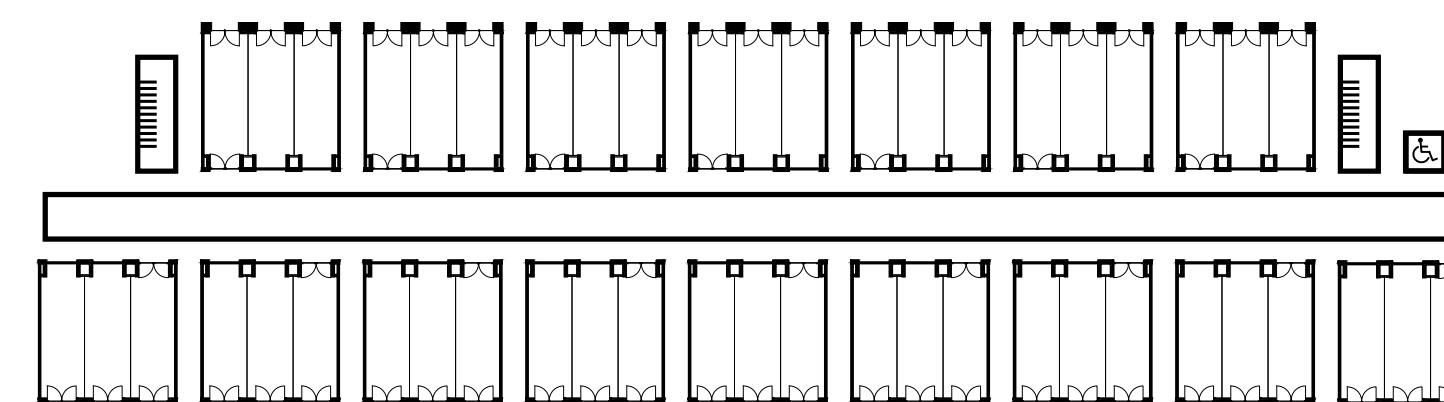
SANS COULOIR, 1 ESCALIER POUR 2 MODULES DESSERVIS À L'ÉTAGE



AVEC COULOIR, 1 ESCALIER POUR 1 À 3 MODULES DESSERVIS À L'ÉTAGE



AVEC COULOIR, 2 ESCALIERS POUR 3 À 17 MODULES DESSERVIS À L'ÉTAGE



1.3 ASSEMBLER

B / CIRCULATIONS VERTICALES

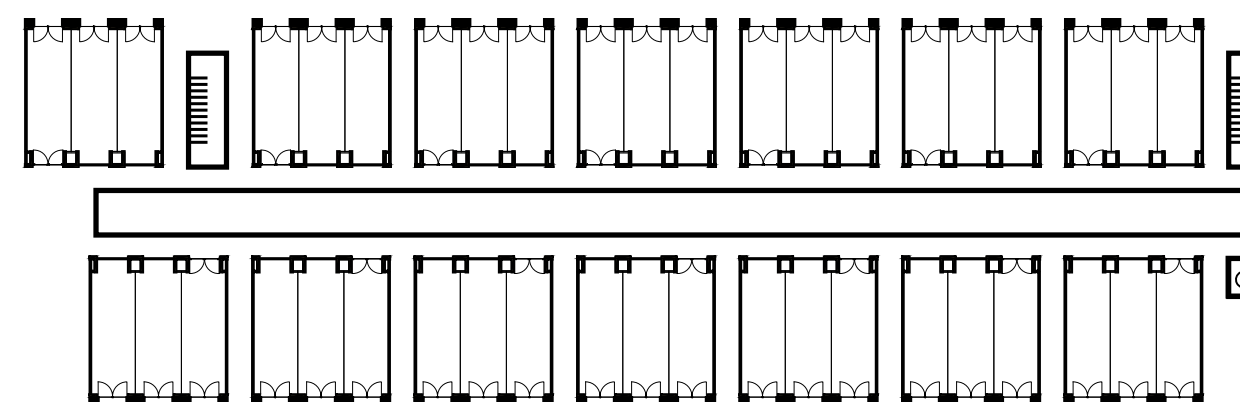
Une fois leur nombre calculé, les modules « escalier » seront disposés de manière telle qu'ils soient :

- dans le cas de deux escaliers minimum : aux extrémités du bâtiment, avec maximum un module de classe situé au-delà de leur position afin de ne pas créer un couloir en cul-de-sac de plus de 15m;
- au-delà de deux escaliers : dans une position telle qu'il n'y ait jamais plus de 10 modules entre deux escaliers successifs, l'escalier le plus proche devant se trouver à moins de 45m de tout espace de l'étage et l'escalier le plus distant devant être à 80m maximum.

Outre ces quelques règles de base de composition, le projet général obtenu sera vérifié par rapport à l'arrêté royal du 7 juillet 1994 et la NBN S 21-204-2:2020 de protection contre l'incendie dans les bâtiments - Bâtiments scolaires.

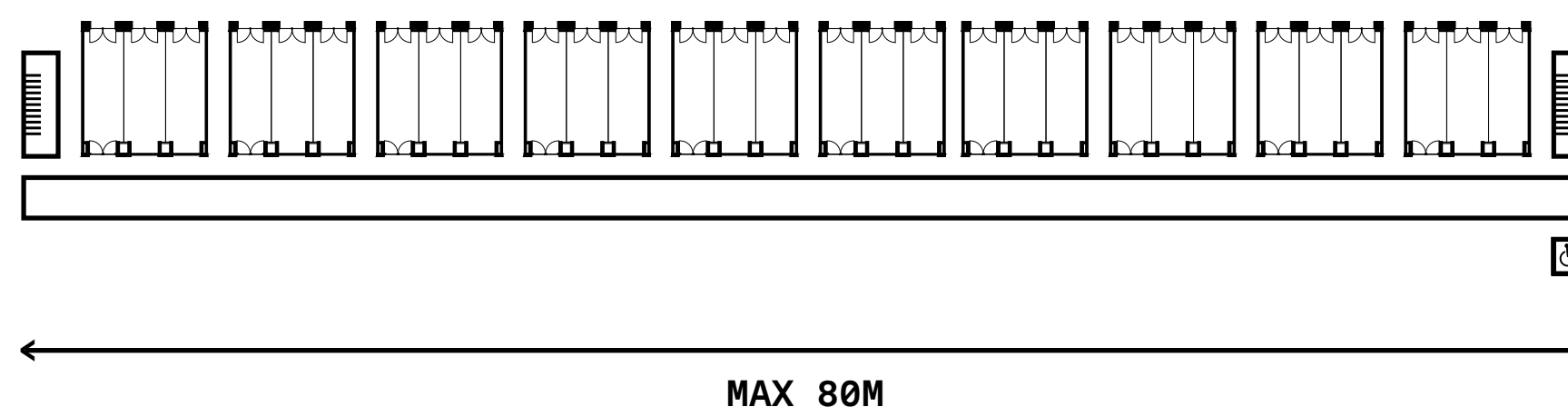
POSITIONS POSSIBLES AUX EXTRÉMITÉS

EXTRÉMITÉ: MAX 1 MODULE AU-DELÀ DE L'ESCALIER

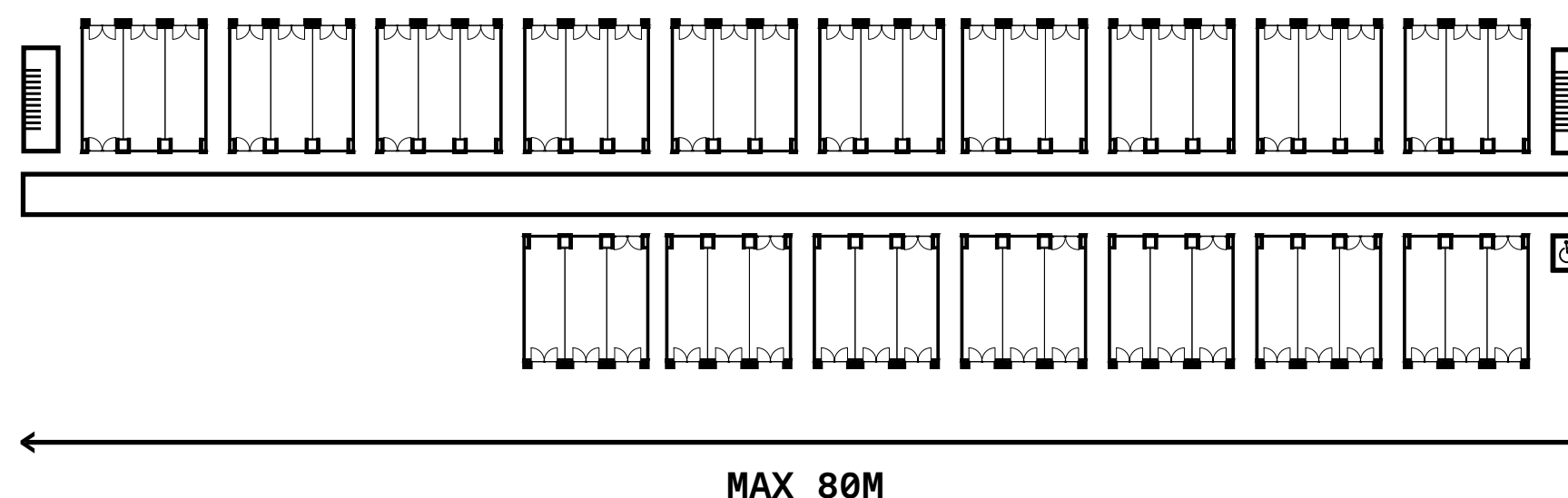


ÉCART MAXIMAL ENTRE DEUX CAGES D'ESCALIER

ÉCART: MAX 10 MODULES



ÉCART: MAX 10 MODULES



1.3 ASSEMBLER

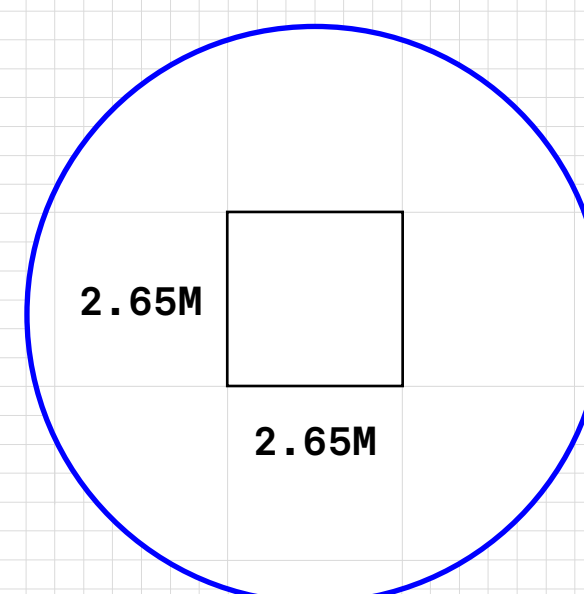
C / GRILLE

Une fois le programme transposé en logique de modules de classe et le nombre de modules de circulation horizontale et verticale déterminé, les principes d'assemblage peuvent être étudiés.

L'assemblage des modules a pour principe de base leur inscription en plan sur une grille de 2.65m par 2.65m de côté. Celle-ci présente l'avantage de permettre la composition, au choix:

- de modules de classe sans couloir;
- de modules de classe d'un seul côté d'un couloir;
- de modules de classe des deux côtés d'un couloir.

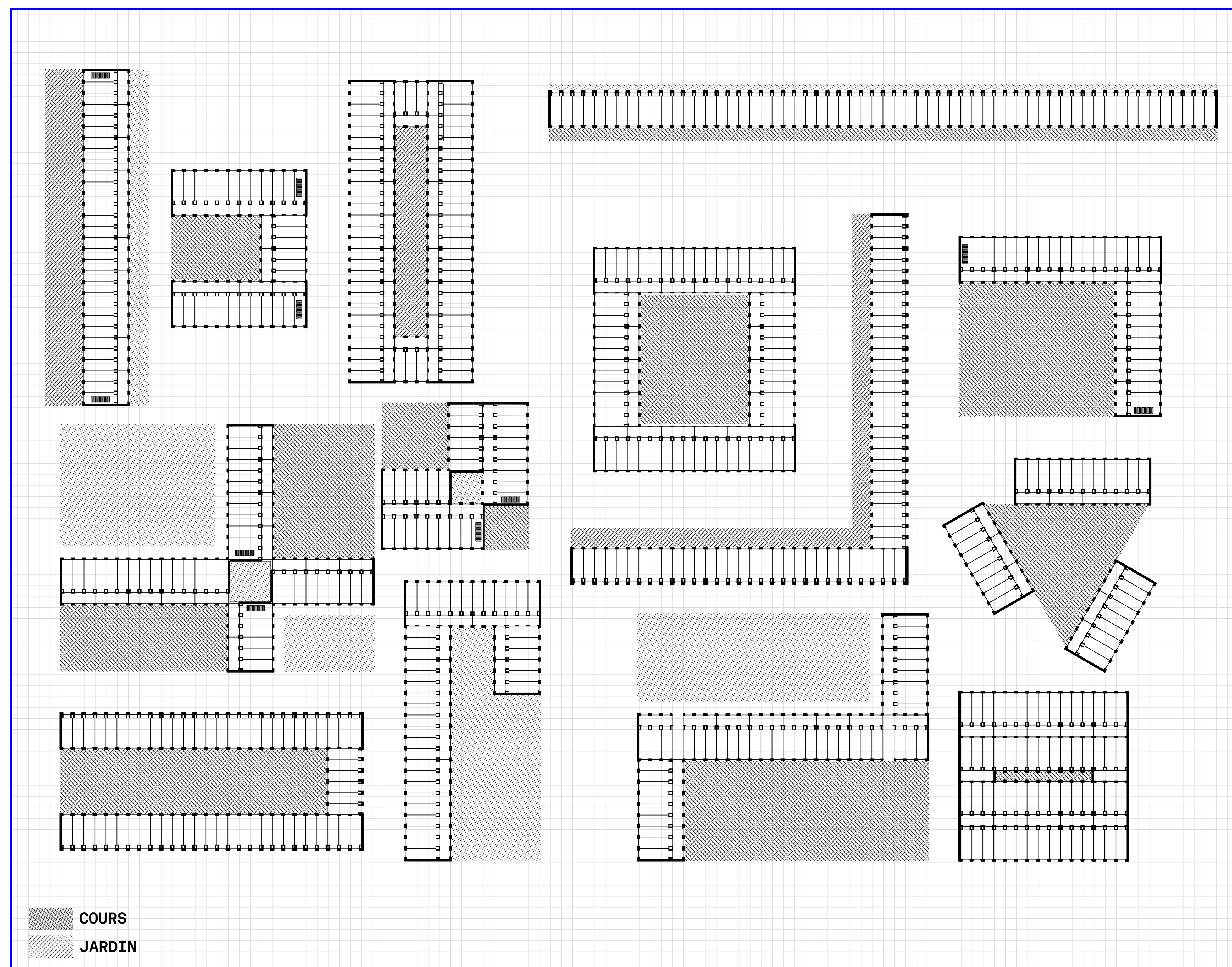
Par ailleurs, tous les modules – de classe ou de circulation – ont été dimensionnés de manière à ce qu'ils s'inscrivent toujours dans la grille de composition de 2.65m. C'est le cas également s'ils sont pivotés de 90°. Cette caractéristique dimensionnelle permet une grande variété d'assemblages possibles.



1.3 ASSEMBLER

C / GRILLE

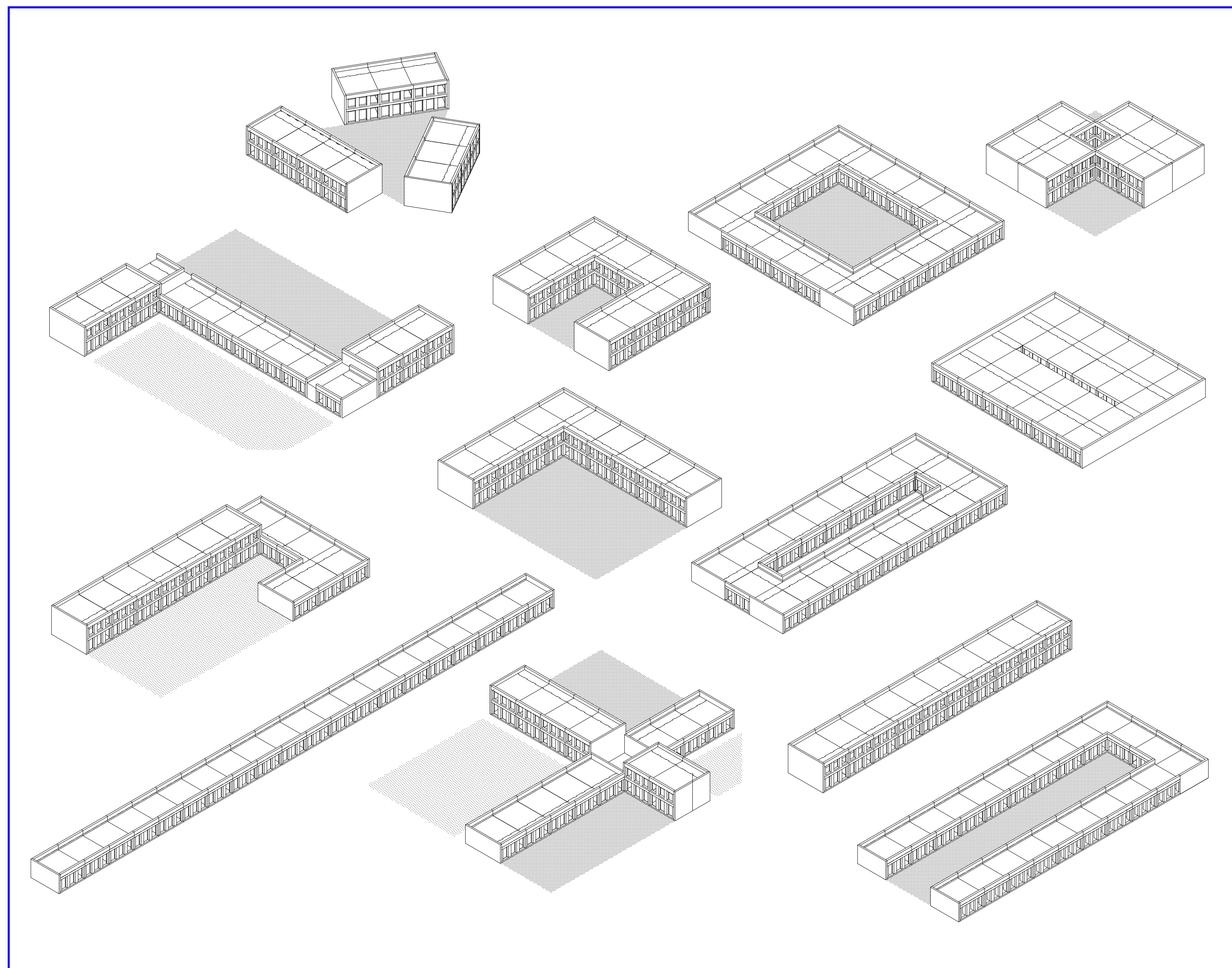
Les dessins ci-contre permettent de comprendre la grande variété de compositions qu'il est possible de réaliser au départ du système MODUL R. Chacune de ces compositions est réalisée sur base de 20 modules de classe, ce qui correspond à un programme « classique » d'école fondamentale comprenant 3 classes de maternelles et 6 classes de primaires ainsi que leurs espaces annexes.



1.3 ASSEMBLER

C / GRILLE

Les dessins ci-contre permettent de comprendre la grande variété de compositions qu'il est possible de réaliser au départ du système MODUL R. Chacune de ces compositions est réalisée sur base de 20 modules de classe, ce qui correspond à un programme « classique » d'école fondamentale comprenant 3 classes de maternelles et 6 classes de primaires ainsi que leurs espaces annexes.



1.4 COMPLÉTER

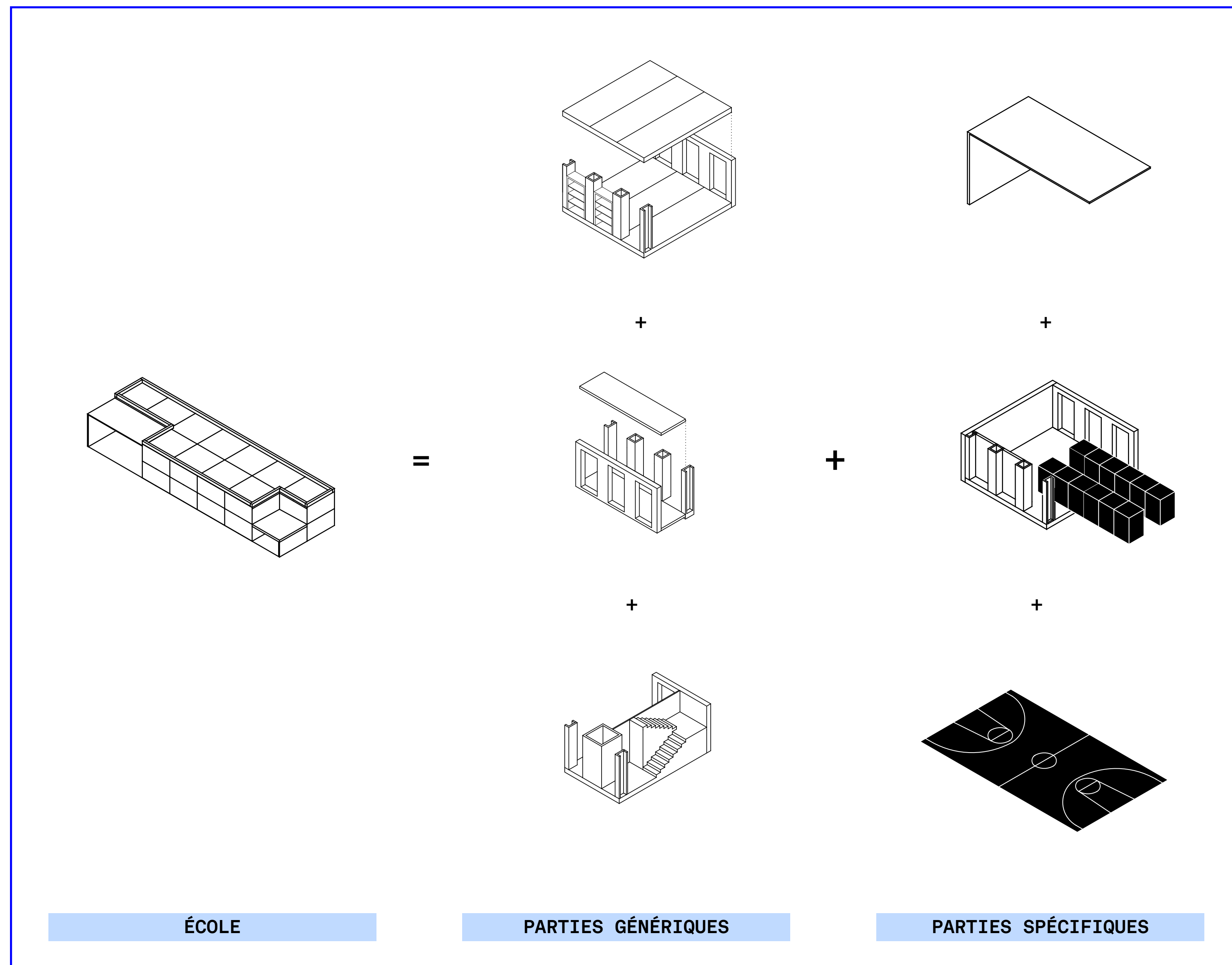
A / AJOUTER LES ESPACES SPÉCIFIQUES

Une fois l'étape d'assemblage des modules terminée, les espaces de la future école sont déjà définis dans les grandes lignes. En effet, comme précisé plus haut, le système MODULR permet de constituer entre 75% et 98% des espaces intérieurs d'une école (cf. volume I, chapitre « convertir »).

Il reste donc à compléter les espaces génériques réalisés à partir du système MODULR avec les 25% à 2% d'espaces spécifiques. Il s'agit ici d'espaces qui, par leur taille, leurs spécificités techniques ou leur usage spécifique, ne peuvent pas être générés par des modules standards. Ce sont des espaces du type :

- les salles de sport;
- les cuisines industrielles;
- les conciergeries;
- etc.

Outre les espaces intérieurs, ce sont également les espaces extérieurs qui sont définis durant cette étape. Ils concernent les préaux, les accès, les espaces de cours et de jardins.

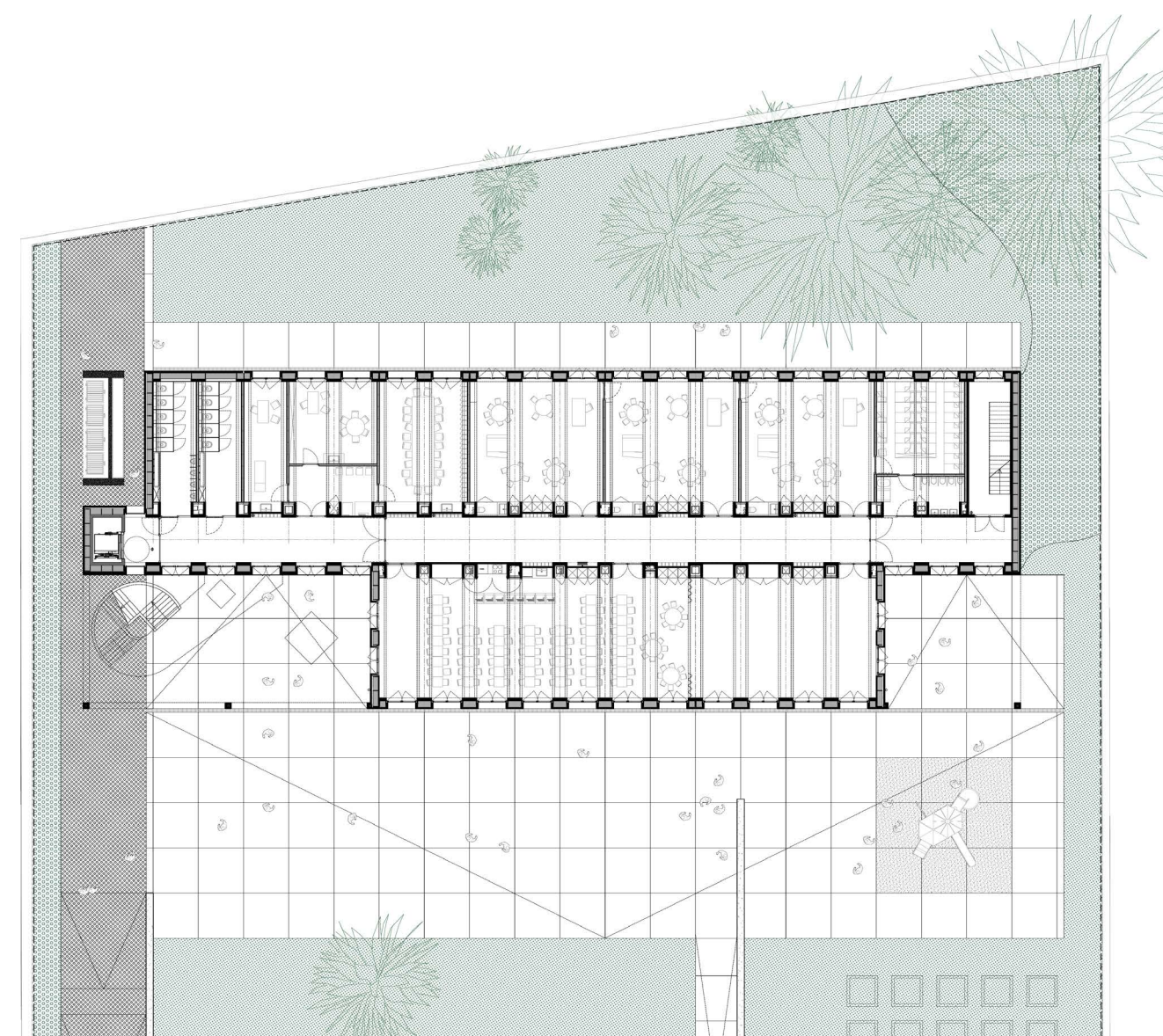
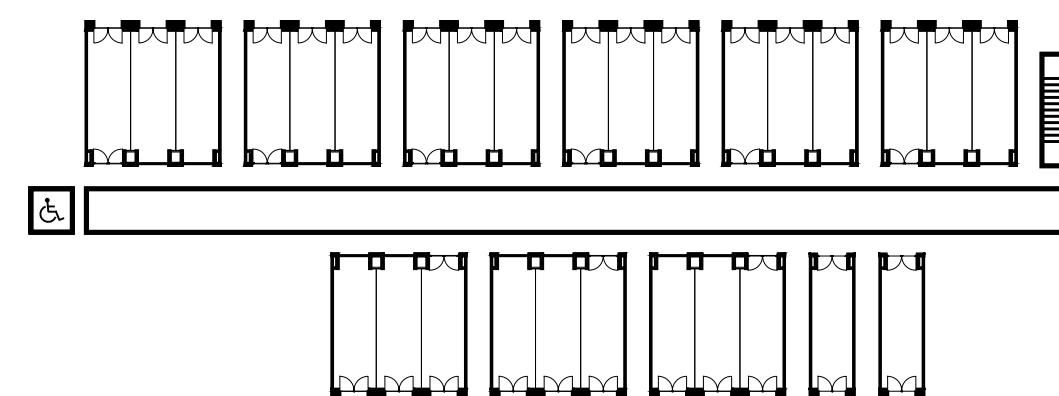


1.4 COMPLÉTER

B / EXEMPLE

Le projet-pilote de la section fondamentale de l'Athénée royal de La Louvière, qui constitue le volet « appliqué » de cette recherche-développement, illustre ce travail qui permet de passer d'une composition générique à une composition spécifique. C'est le cas, notamment, de l'intégration dans les dessins ci-contre :

- du préau des primaires, intégrant l'entrée principale de l'école;
- du préau des maternelles;
- d'un deuxième escalier extérieur situé sous le préau des primaires;
- des espaces de cours et jardins.



GÉNÉRIQUE

GÉNÉRIQUE + SPÉCIFIQUE

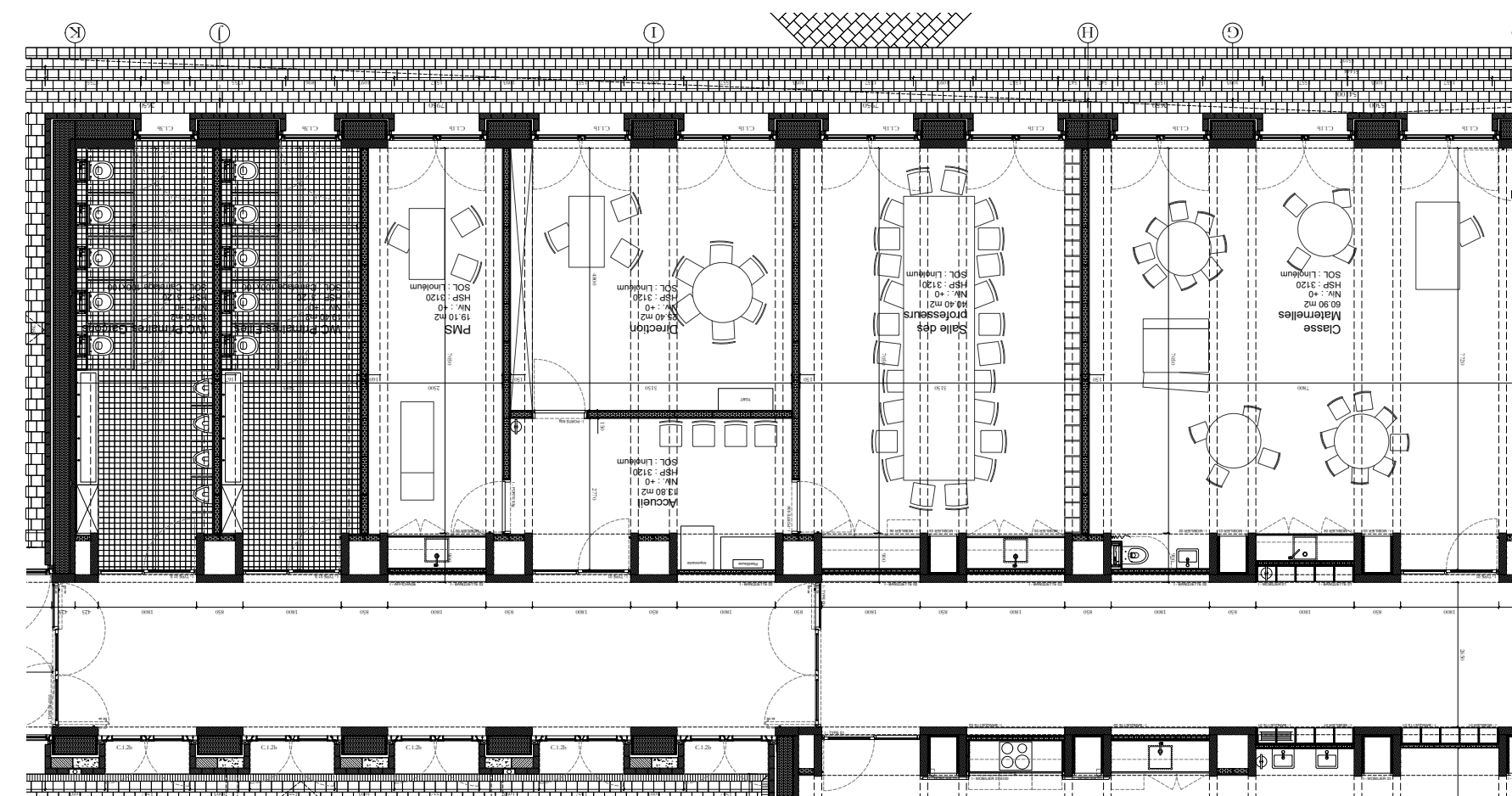
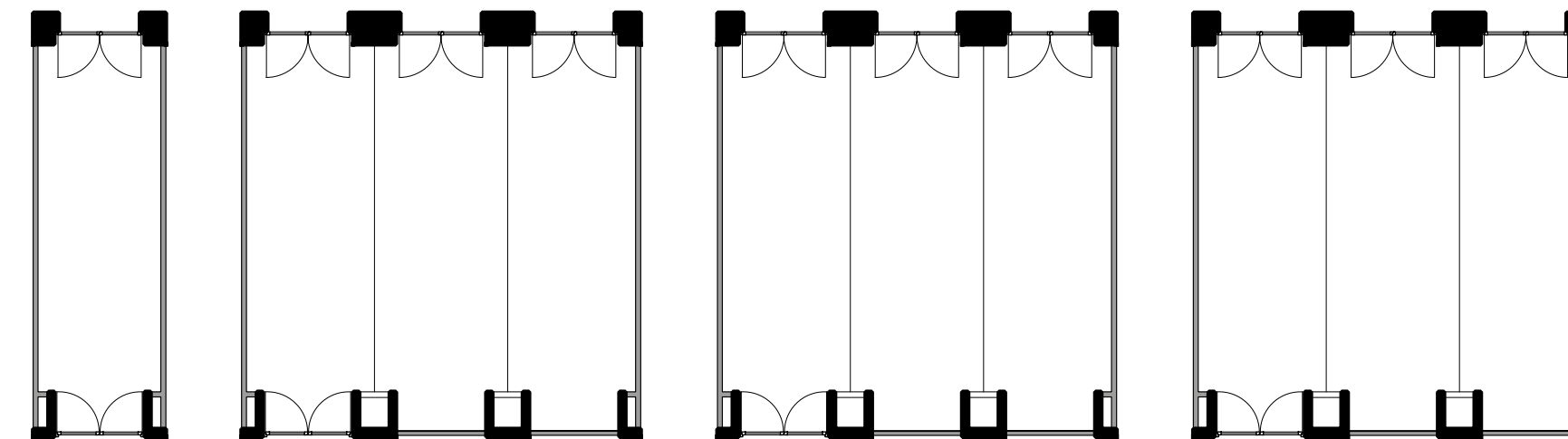
1.5 PARACHEVER

A / INTRODUCTION

Une fois la composition de l'école réalisée en agencant des espaces génériques et spécifiques, il reste à mieux définir les espaces ainsi créés. Les parachèvements visent ainsi à qualifier plus précisément les espaces scolaires de deux manières :

- dans leur définition intérieure (positionnement des cloisonnements internes, choix des équipements particuliers ou de matériaux de finitions spécifiques qui sortent du standard proposé par le système MODUL R);
- dans leur définition extérieure (parement de façade, pose de panneaux solaires, etc.).

Tous les parachèvements intérieurs et extérieurs sont des éléments spécifiques sortant du système MODUL R.



GÉNÉRIQUE

PARACHEVÉ

1.5 PARACHEVER

B / INTÉRIEUR

L'étape « assembler » a permis d'agencer les différents modules de classe et de circulation selon une série de règles, mais aussi, surtout, en vue de créer les espaces et les séquences les plus intéressants possible (cf. volume I, chapitre « assembler »).

Cette étape d'assemblage ne définit néanmoins pas explicitement les subdivisions ou la fusion des modules de classe. C'est un des objets de cette phase de parachèvement : la détermination précise de chacun des espaces demandés par le programme d'école. Celle-ci se fait :

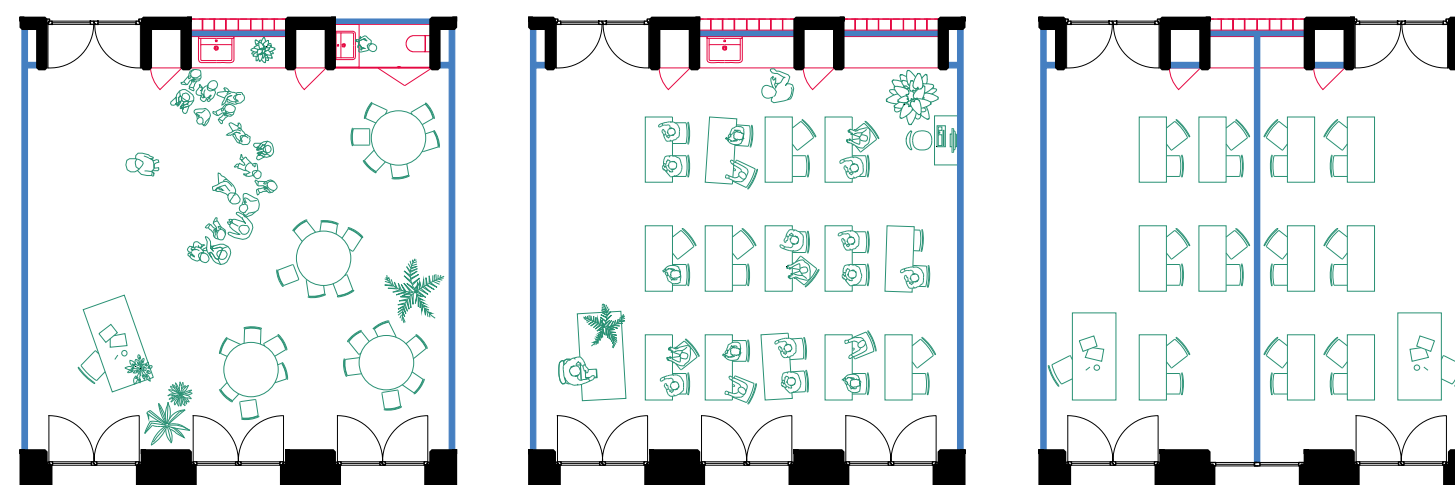
- soit en divisant des modules de classes en sous-espaces de tailles plus petites ;
- soit en additionnant des modules de classe pour créer des espaces de tailles plus grandes.

La présente étape permet de déterminer de manière fine la position :

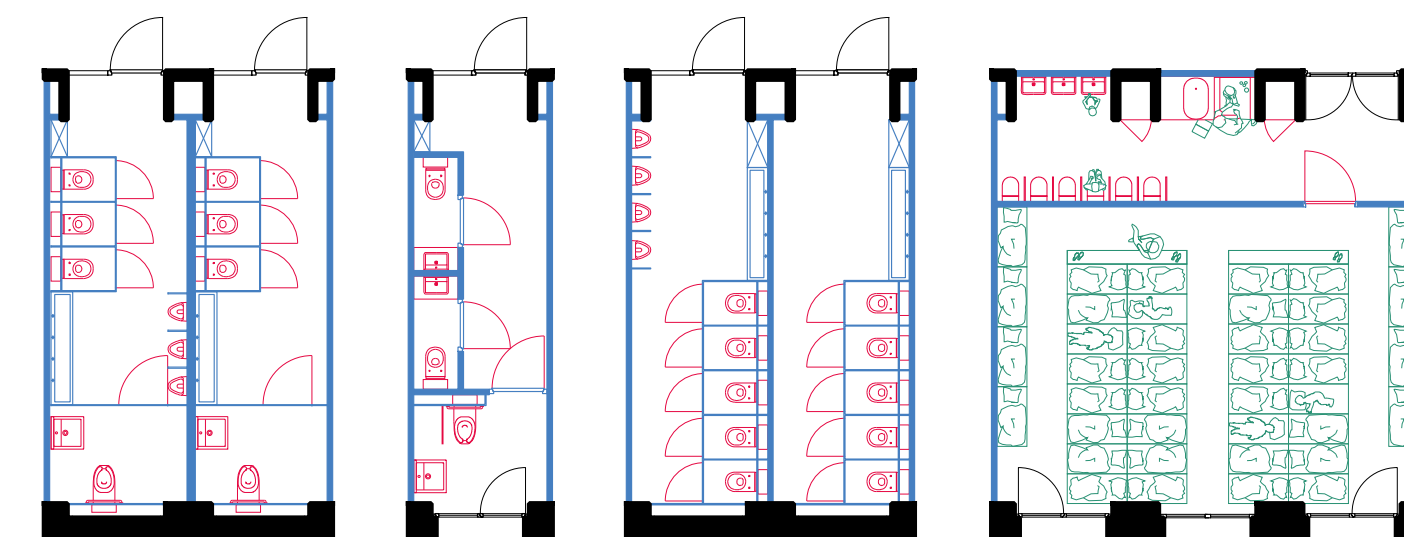
- du cloisonnement léger de l'école ;
- des appareils sanitaires ;
- des équipements électriques.

DIVISER

CLASSE

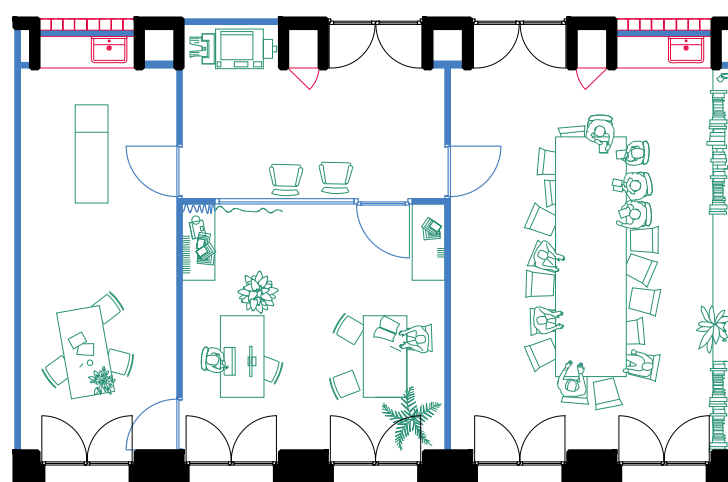
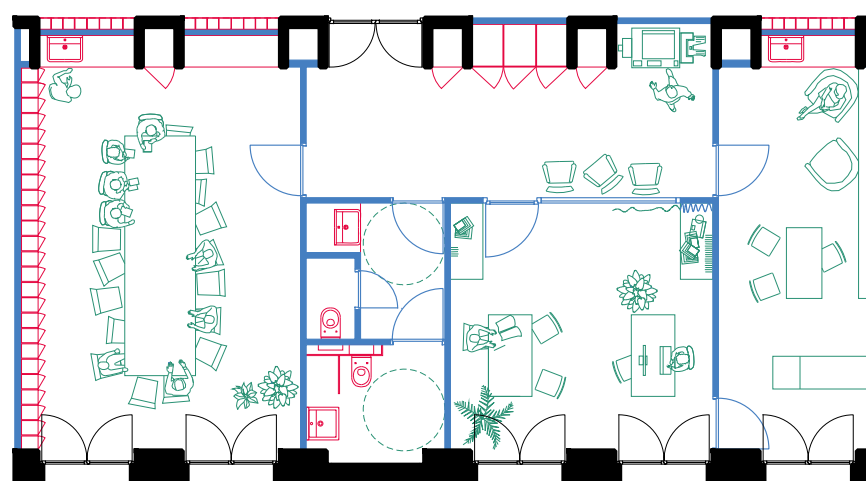


SANITAIRES & SIESTE

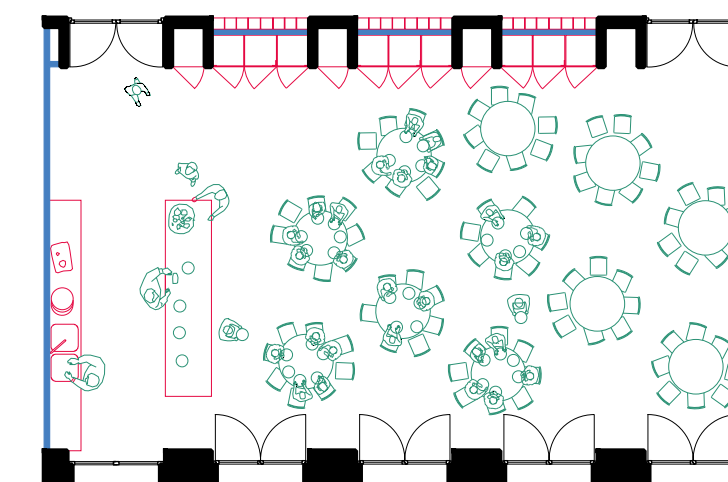
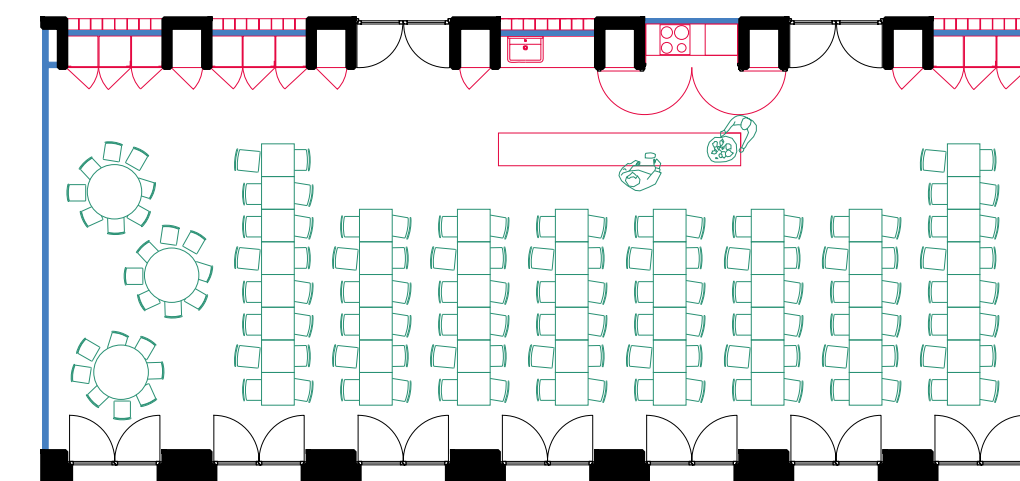


COMBINER

ADMINISTRATION & SALLE DES PROFS



RÉFECTOIRE



1.5 PARACHEVER

B / INTÉRIEUR

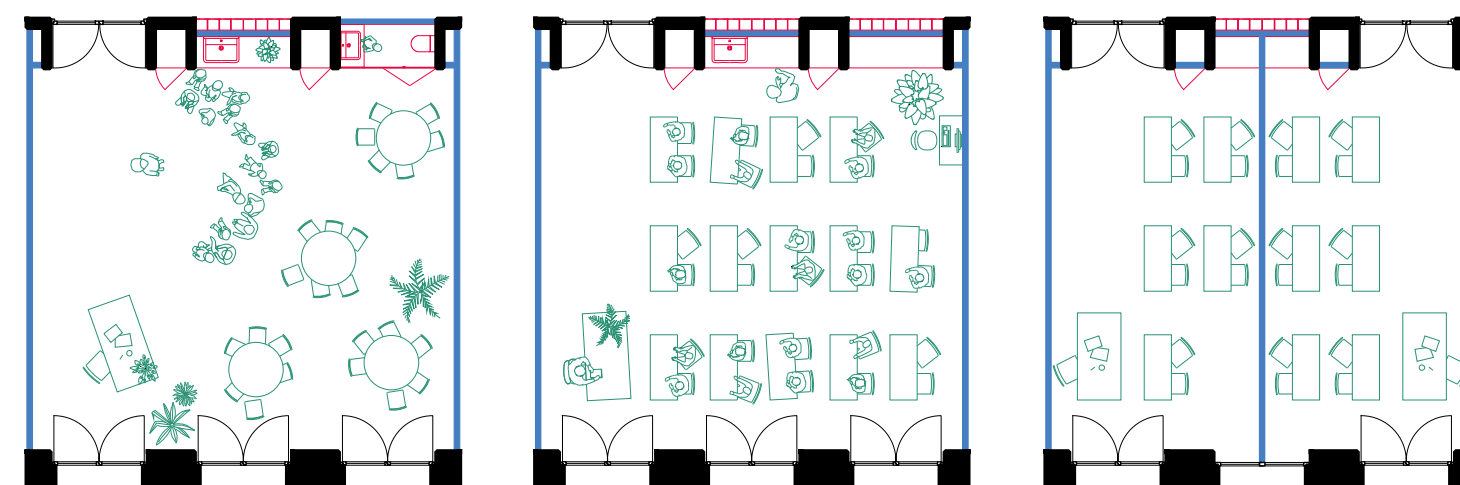
Lors de la présentation des principes de composition des écoles sur base du système MODUL R, il a été montré que le module de classe a été réfléchi pour permettre par sa subdivision ou sa juxtaposition de générer les espaces d'une école. L'objectif de cette phase est de donner corps à cette division secondaire.

En lien avec cette division légère à l'intérieur de la composition des modules préfabriqués, cette étape de parachèvement intérieur inclura également le dessin :

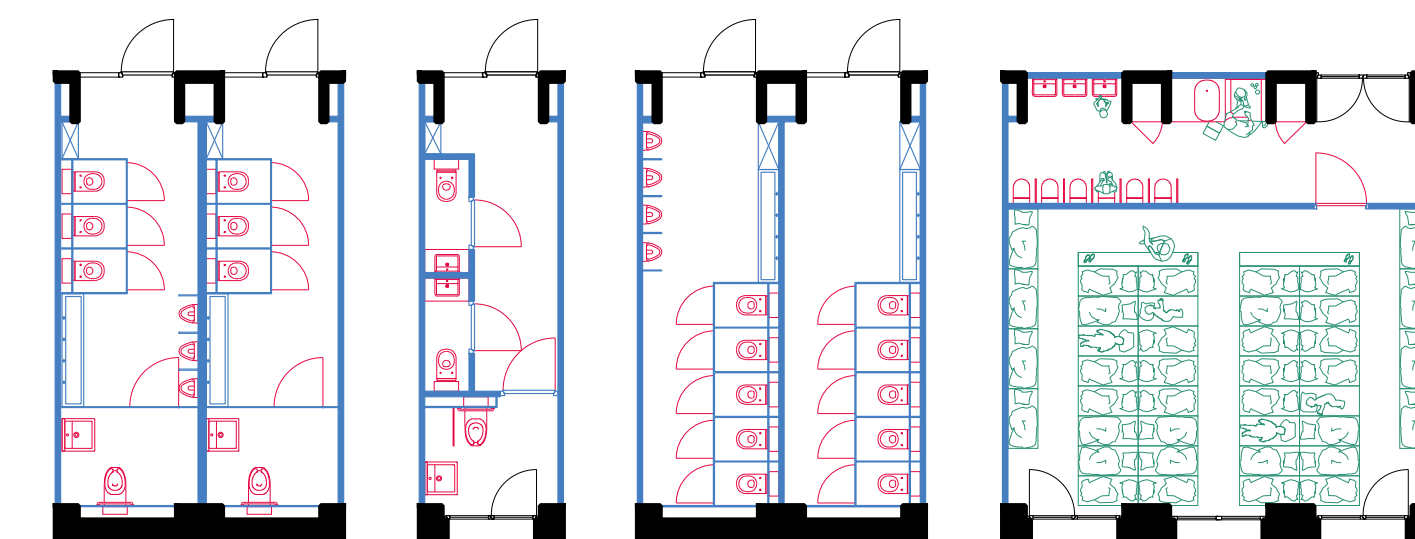
- du mobilier fixe présent dans le projet;
- du schéma du réseau électrique général et de l'alimentation de tous les tableaux divisionnaires;
- du schéma du réseau d'alimentation et d'évacuation de l'eau;
- des finitions des sols et des murs (p. ex., carrelage, linoléum, etc.);
- des dispositifs de signalétique.

DIVISER

CLASSE

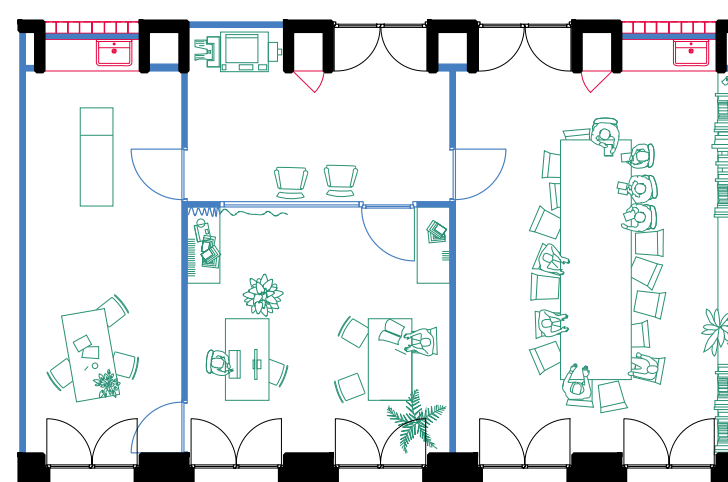
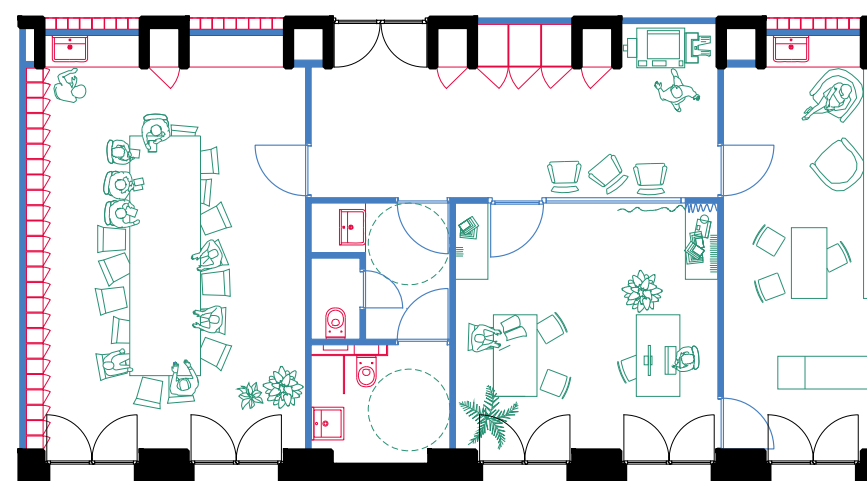


SANITAIRES & SIESTE

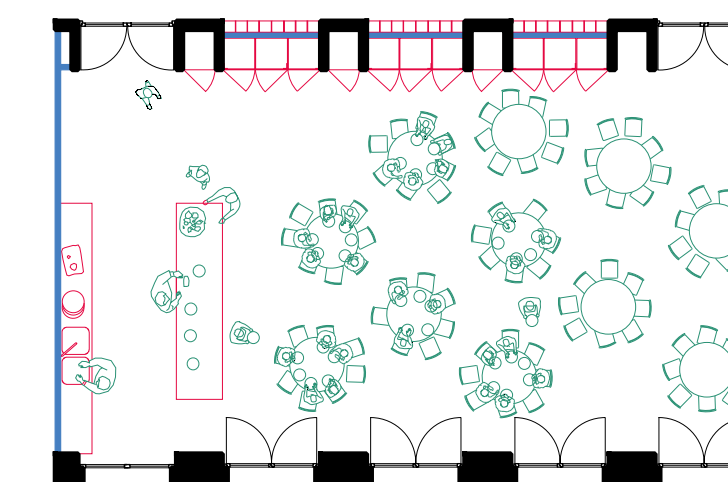
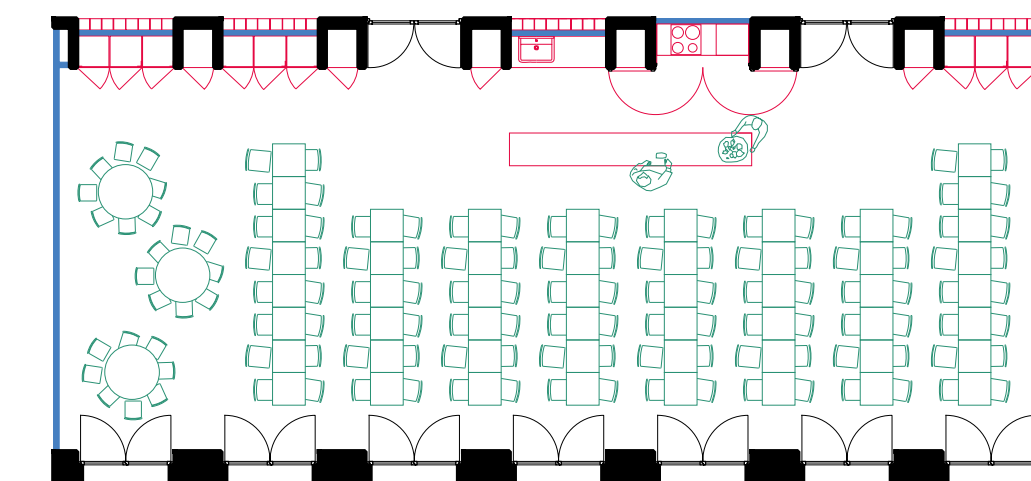


COMBINER

ADMINISTRATION & SALLE DES PROFS



RÉFECTOIRE



1.5 PARACHEVER

C / EXTÉRIEUR

Le parachèvement concerne aussi l'extérieur du bâtiment. Le système MODUL R produit des volumes isolés et étanches à l'eau, comme cela sera explicité dans le deuxième volume du vade-mecum (cf. volume II, chapitre « principes_échelle 3: éléments_façades »).

Deux postes principaux, éléments spécifiques sortant du système MODUL R, restent dès lors à intégrer pour parachever le bâtiment:

- Les parements de façade. Plusieurs options ont été imaginées pour leur compatibilité avec le système MODUL R:
 - la brique: elle est mise en avant pour ses qualités de robustesse dans le cadre d'une école. Les dimensions des modules permettent d'implémenter plusieurs formats: 180 x 80 mm ou 210 x 100 mm (cf. volume III). Les éléments constitutifs des modules ne sont pas contraignants pour la hauteur des briques. Les images ci-contre illustrent la mise en place de briques pour le projet pilote de l'Athénée royal de La Louvière;
 - la tôle métallique: les modules ont été conçus pour permettre la mise en place de tôles métalliques dont l'assemblage démontable pourrait constituer un avantage dans la durée pour les écoles;

- le bois: le parement en bois permettrait d'assurer une grande cohérence entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. Si ce revêtement est le plus approprié du point de vue environnemental, il implique un entretien régulier (tous les 2 à 5 ans), qu'il s'agit de pouvoir assumer sur le long terme.

- Les équipements complémentaires en toiture. La structure du système MODUL R (cf. volume II, chapitre « principes_échelle 2: parties_structure ») a été dimensionnée pour permettre, au choix, l'installation:
 - de panneaux solaires photovoltaïques;
 - d'une toiture végétalisée extensive non accessible avec 100 kg/m² de charge (en saturé);
 - d'une terrasse.



1.5 PARACHEVER

C / EXTÉRIEUR

Le parachèvement concerne aussi l'extérieur du bâtiment. Le système MODUL R produit des volumes isolés et étanches à l'eau, comme cela sera explicité dans le deuxième volume du vade-mecum (cf. volume II, chapitre « principes_échelle 3: éléments_façades »).

Deux postes principaux, éléments spécifiques sortant du système MODUL R, restent dès lors à intégrer pour parachever le bâtiment:

- Les parements de façade. Plusieurs options ont été imaginées pour leur compatibilité avec le système MODUL R:
 - la brique: elle est mise en avant pour ses qualités de robustesse dans le cadre d'une école. Les dimensions des modules permettent d'implémenter plusieurs formats: 180x80 mm ou 210x100 mm (cf. volume III). Les éléments constitutifs des modules ne sont pas contraignants pour la hauteur des briques. Les images ci-contre illustrent la mise en place de briques pour le projet pilote de l'Athénée royal de La Louvière;
 - la tôle métallique: les modules ont été conçus pour permettre la mise en place de tôles métalliques dont l'assemblage démontable pourrait constituer un avantage dans la durée pour les écoles;

- le bois: le parement en bois permettrait d'assurer une grande cohérence entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. Si ce revêtement est le plus approprié du point de vue environnemental, il implique un entretien régulier (tous les 2 à 5 ans), qu'il s'agit de pouvoir assumer sur le long terme.

- Les équipements complémentaires en toiture. La structure du système MODUL R (cf. volume II, chapitre « principes_échelle 2: parties_structure ») a été dimensionnée pour permettre, au choix, l'installation:
 - de panneaux solaires photovoltaïques;
 - d'une toiture végétalisée extensive non accessible avec 100 kg/m² de charge (en saturé);
 - d'une terrasse.



1.6 EXEMPLES

A / COMBINAISONS DE BASE

Afin d'illustrer les principes de composition du système MODUL R, plusieurs agencements de base ont été imaginés. Le tableau ci-contre propose une revue systématique des dispositions possibles en développant des solutions allant de 1 à 8 modules de classe et formant des écoles :

- d'un seul niveau, une seule rangée de classes, sans couloir;
- d'un seul niveau, une seule rangée de classes, avec couloir;
- de deux niveaux, une seule rangée de classes, avec couloir;
- d'un seul niveau, deux rangées de classes, sans couloir;
- d'un seul niveau, deux rangées de classes, avec couloir;
- de deux niveaux, deux rangées de classes, avec couloir.

Ces solutions sont développées pour des dispositions standards allant :

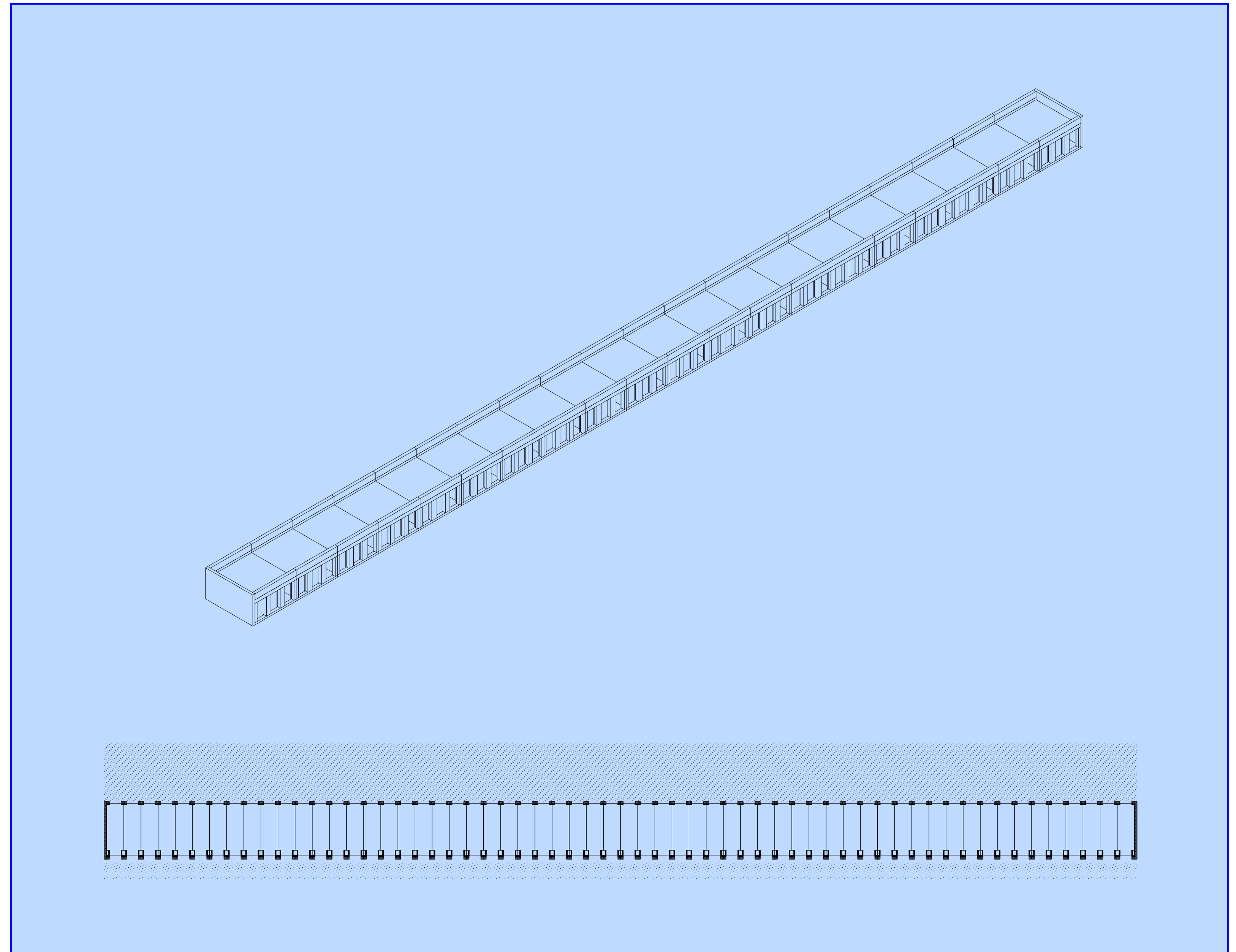
- de compositions en I;
- de compositions en L;
- de compositions en U;
- de compositions en O.

	1	2	3	4	5	6	7	8
REZ SIMPLE								
REZ COULOIR								
REZ COULOIR ÉTAGE								
REZ DOUBLE								
REZ COULOIR DOUBLE								
REZ COULOIR DOUBLE ÉTAGE								

1.6 EXEMPLES

B / 20 MODULES

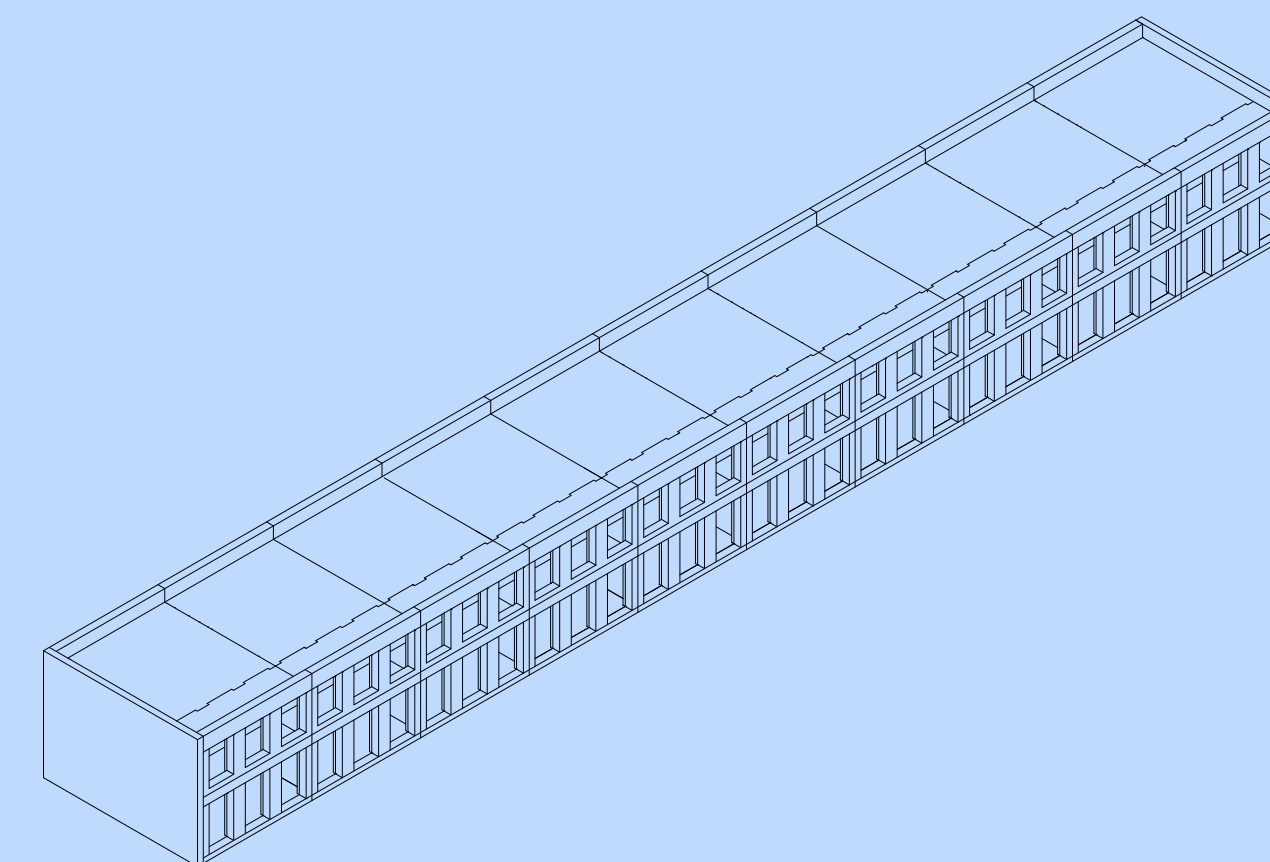
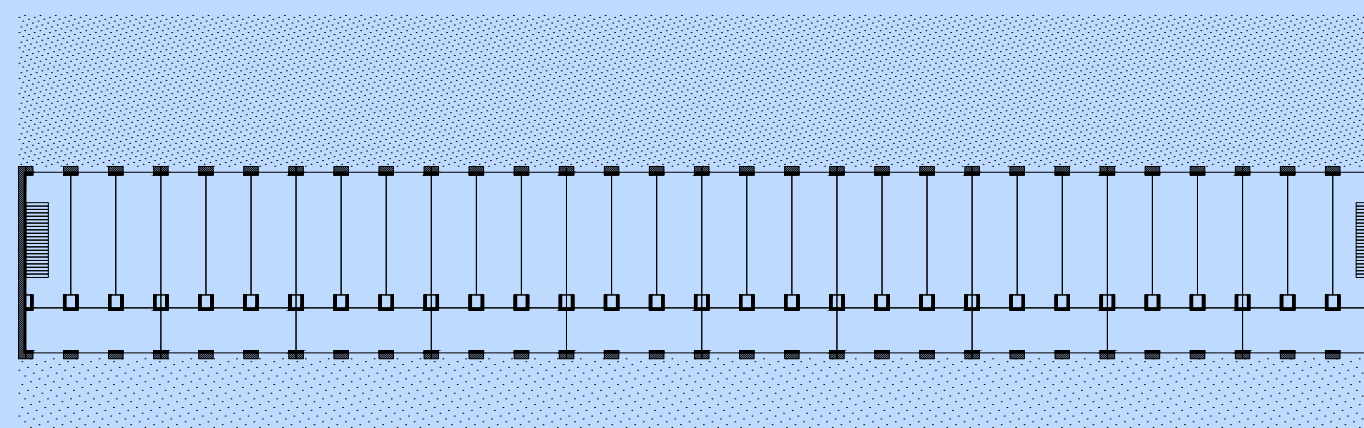
L'analyse de différents programmes scolaires permet de montrer qu'une école fondamentale comprenant une section de 3 classes de maternelles et 6 classes de primaires peut être convertie en 20 modules de classe. Voici quelques compositions d'écoles combinant 20 modules de classes, avec ou sans couloir et d'un ou de deux niveaux.



1.6 EXEMPLES

B / 20 MODULES

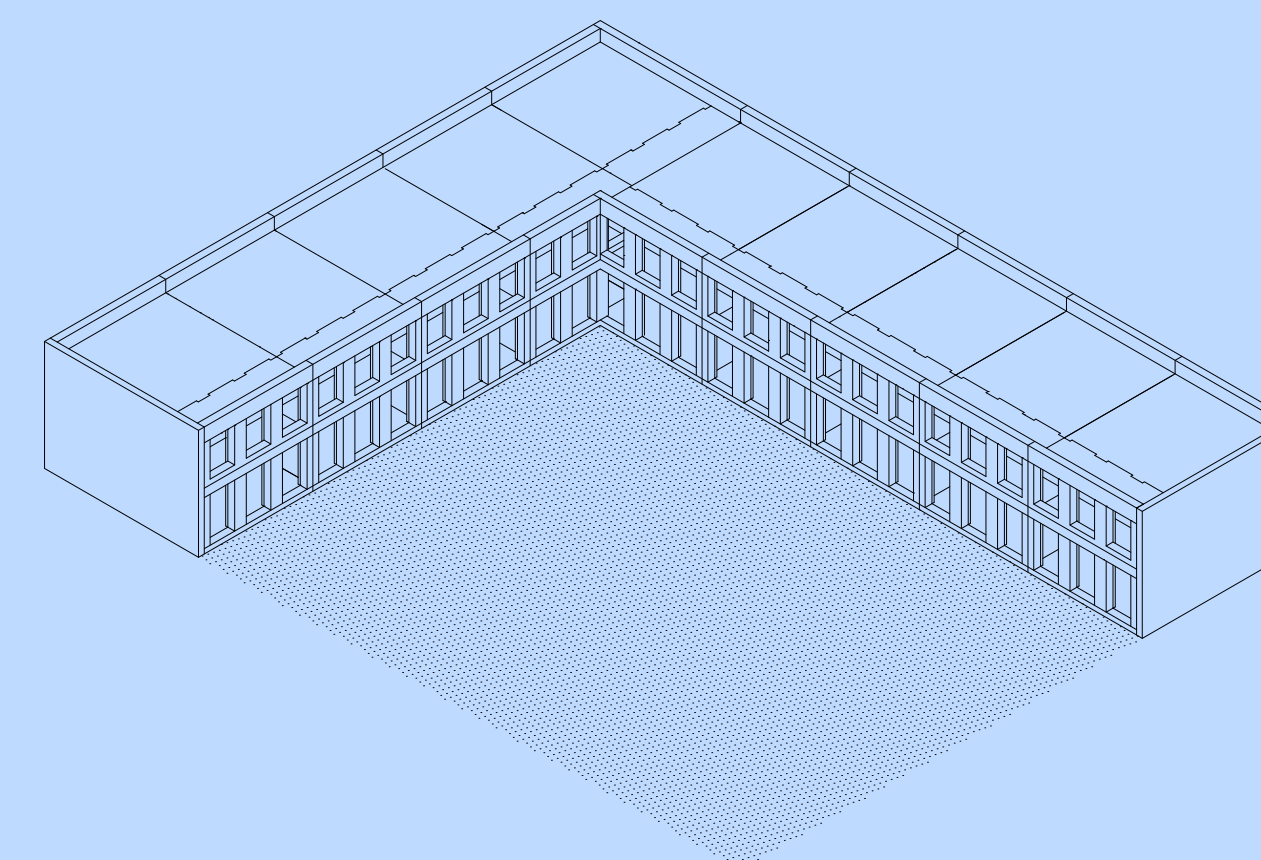
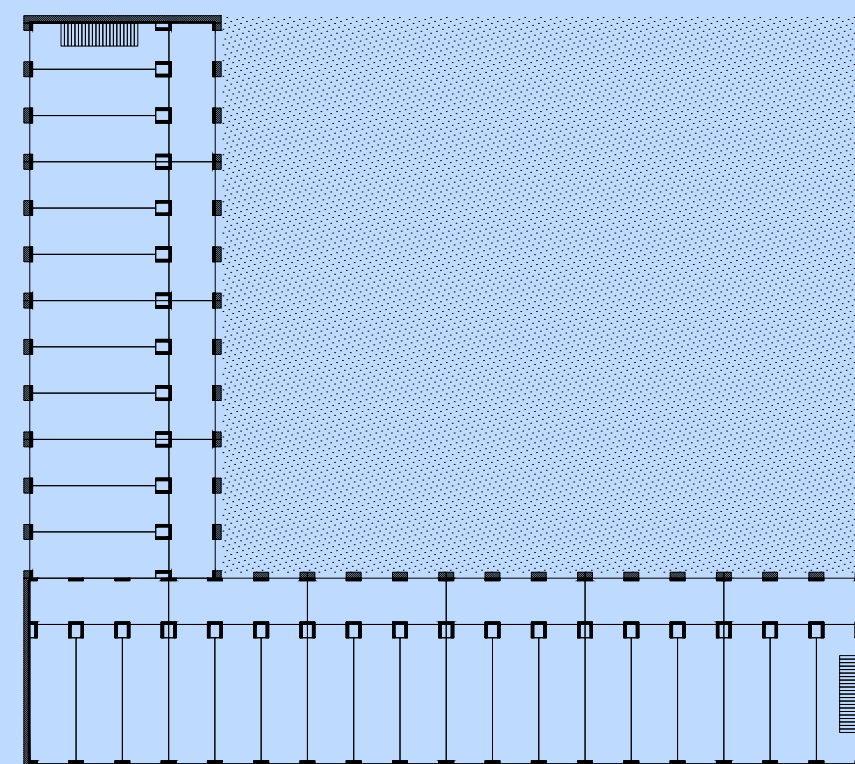
L'analyse de différents programmes scolaires permet de montrer qu'une école fondamentale comprenant une section de 3 classes de maternelles et 6 classes de primaires peut être convertie en 20 modules de classe. Voici quelques compositions d'écoles combinant 20 modules de classes, avec ou sans couloir et d'un ou de deux niveaux.



1.6 EXEMPLES

B / 20 MODULES

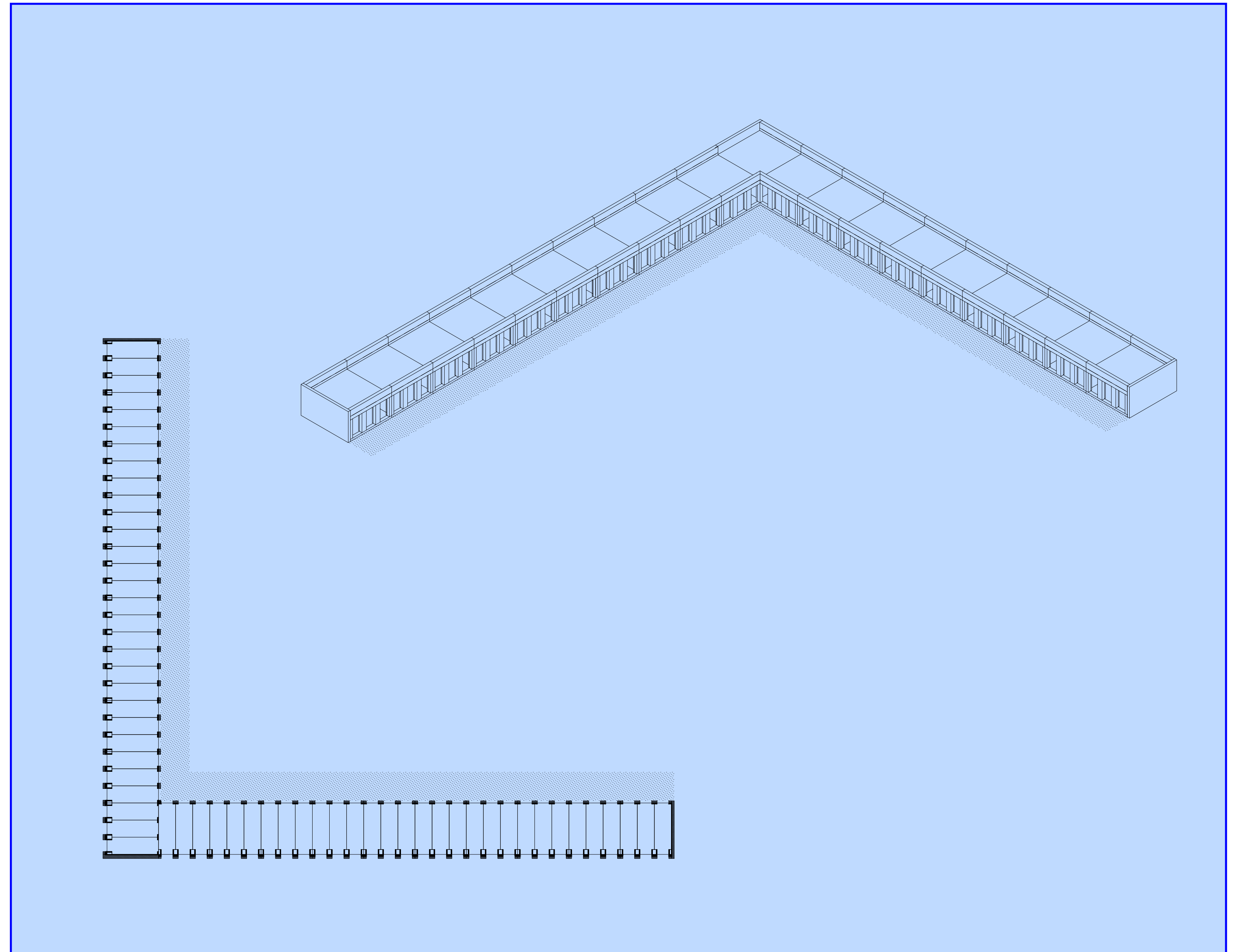
L'analyse de différents programmes scolaires permet de montrer qu'une école fondamentale comprenant une section de 3 classes de maternelles et 6 classes de primaires peut être convertie en 20 modules de classe. Voici quelques compositions d'écoles combinant 20 modules de classes, avec ou sans couloir et d'un ou de deux niveaux.



1.6 EXEMPLES

B / 20 MODULES

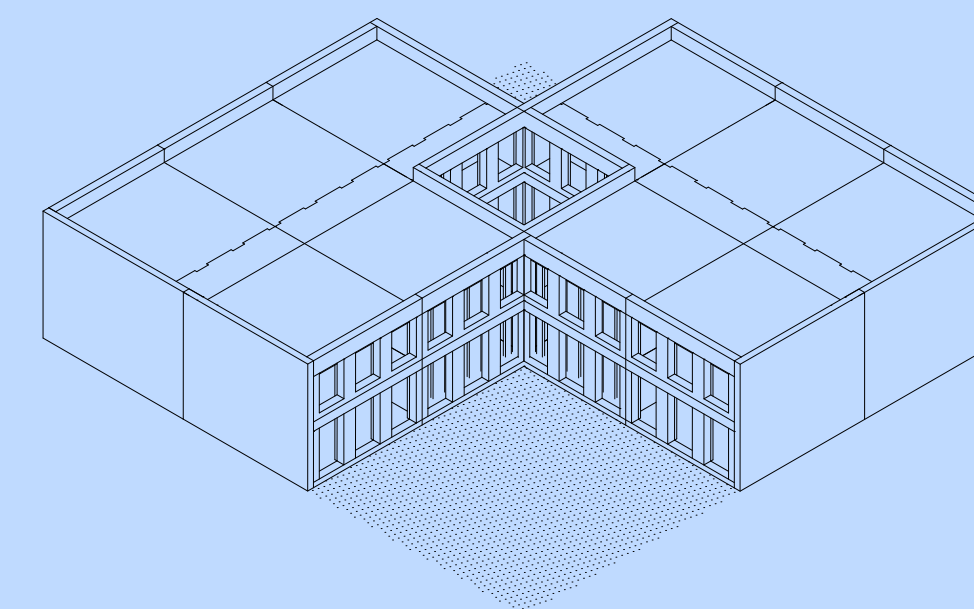
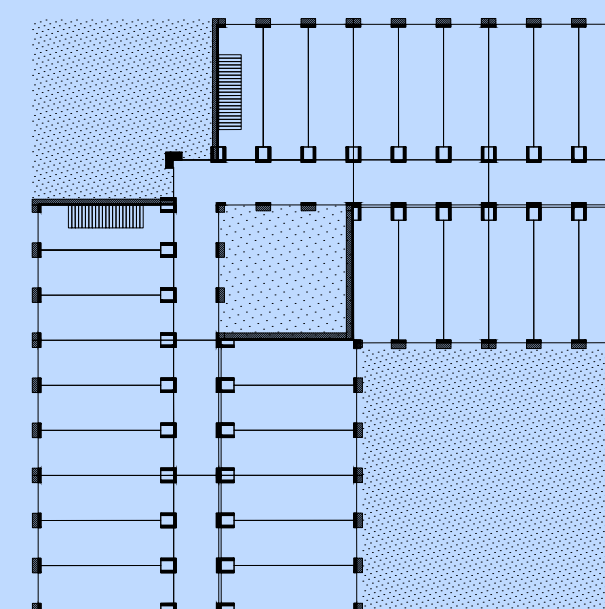
L'analyse de différents programmes scolaires permet de montrer qu'une école fondamentale comprenant une section de 3 classes de maternelles et 6 classes de primaires peut être convertie en 20 modules de classe. Voici quelques compositions d'écoles combinant 20 modules de classes, avec ou sans couloir et d'un ou de deux niveaux.



1.6 EXEMPLES

B / 20 MODULES

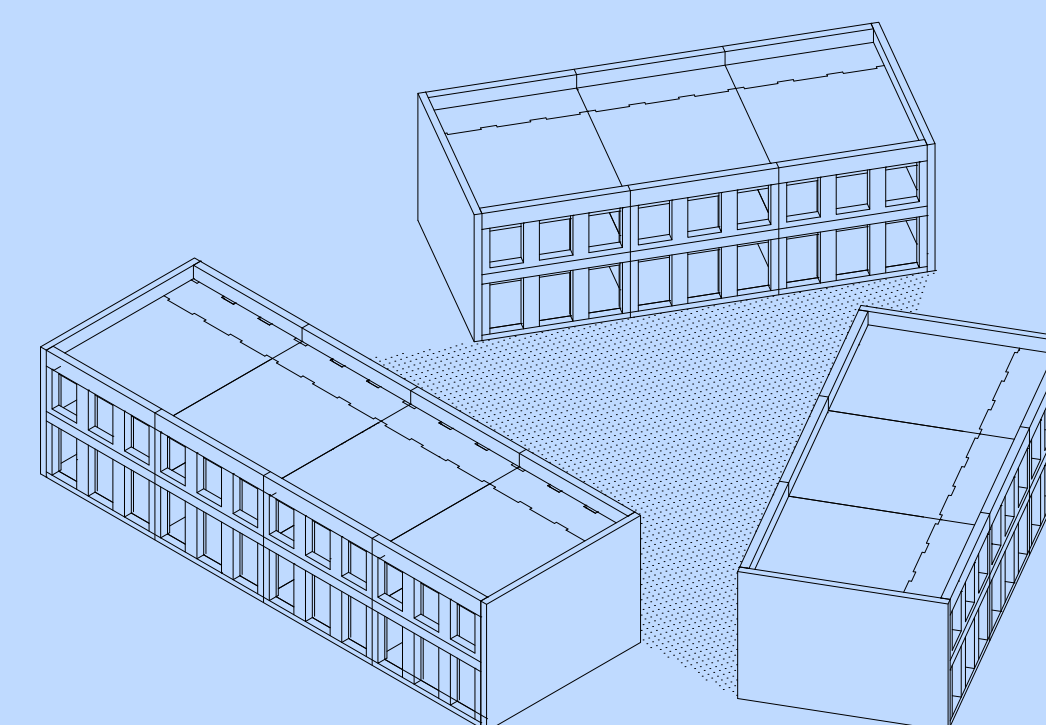
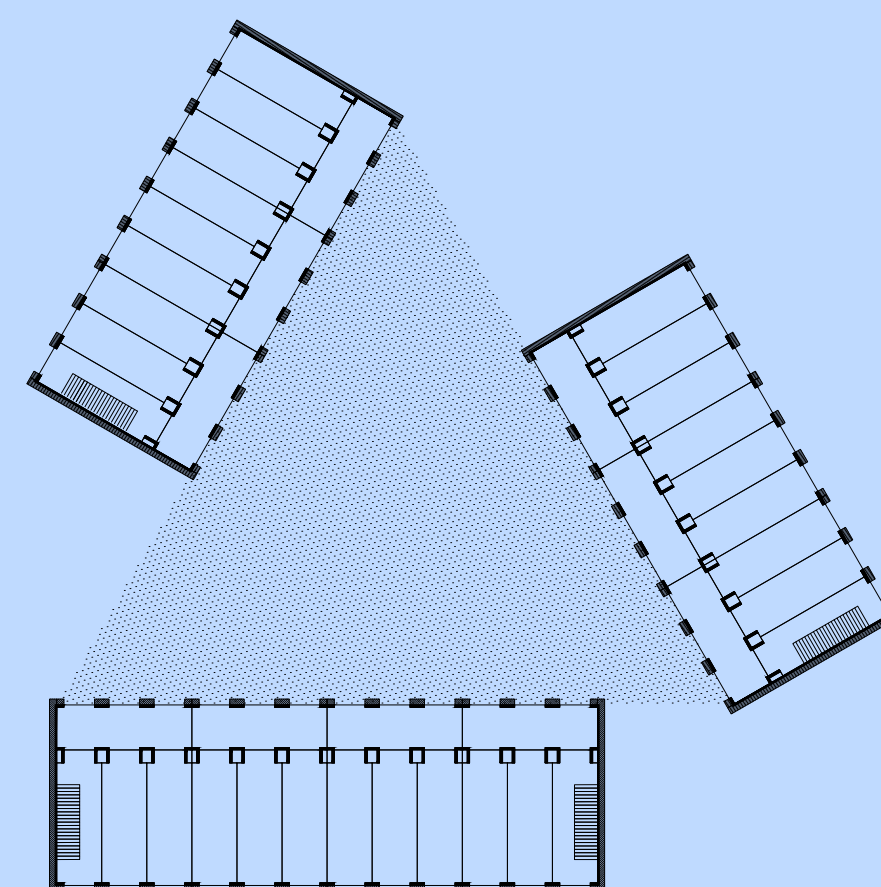
L'analyse de différents programmes scolaires permet de montrer qu'une école fondamentale comprenant une section de 3 classes de maternelles et 6 classes de primaires peut être convertie en 20 modules de classe. Voici quelques compositions d'écoles combinant 20 modules de classes, avec ou sans couloir et d'un ou de deux niveaux.



1.6 EXEMPLES

B / 20 MODULES

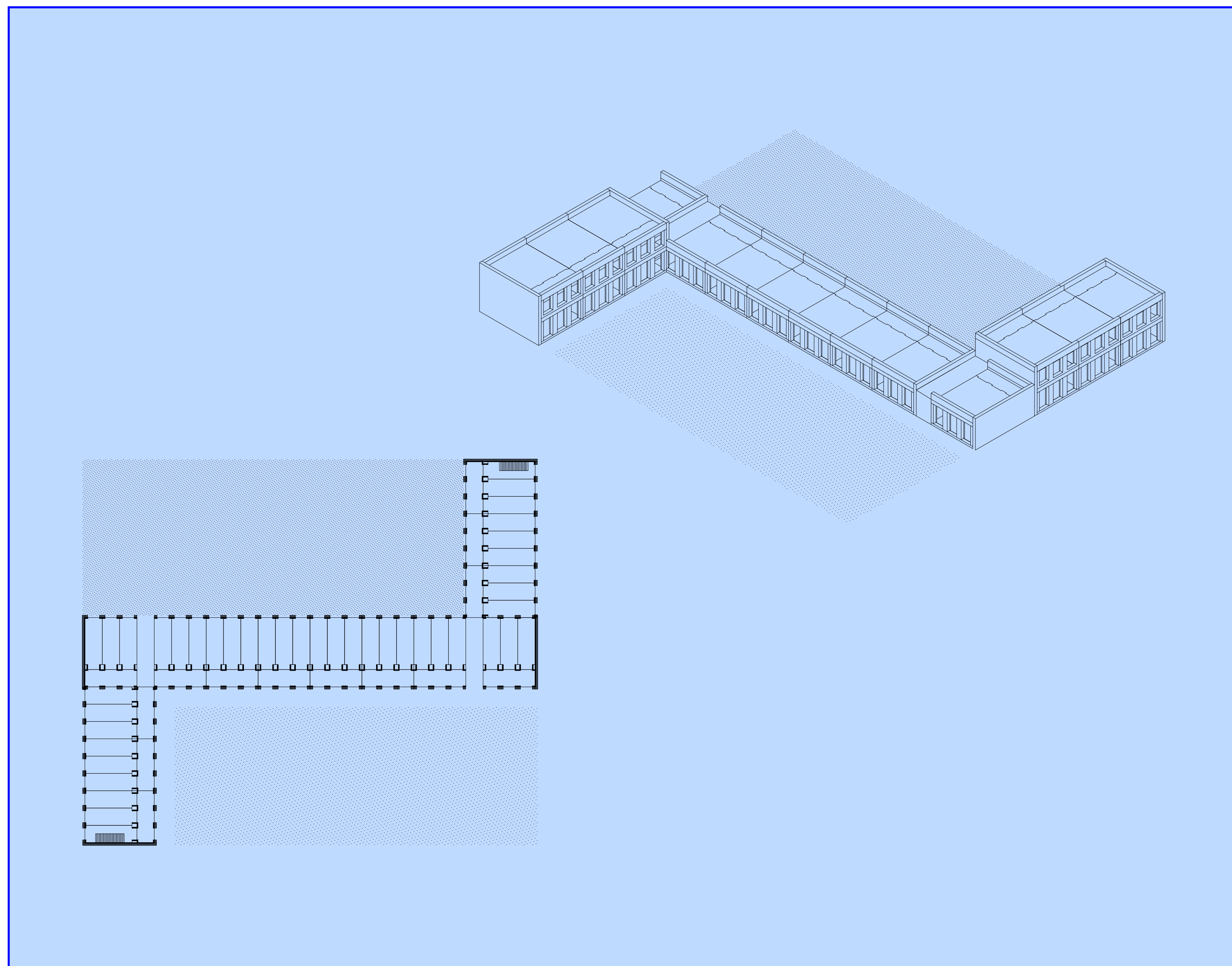
L'analyse de différents programmes scolaires permet de montrer qu'une école fondamentale comprenant une section de 3 classes de maternelles et 6 classes de primaires peut être convertie en 20 modules de classe. Voici quelques compositions d'écoles combinant 20 modules de classes, avec ou sans couloir et d'un ou de deux niveaux.



1.6 EXEMPLES

B / 20 MODULES

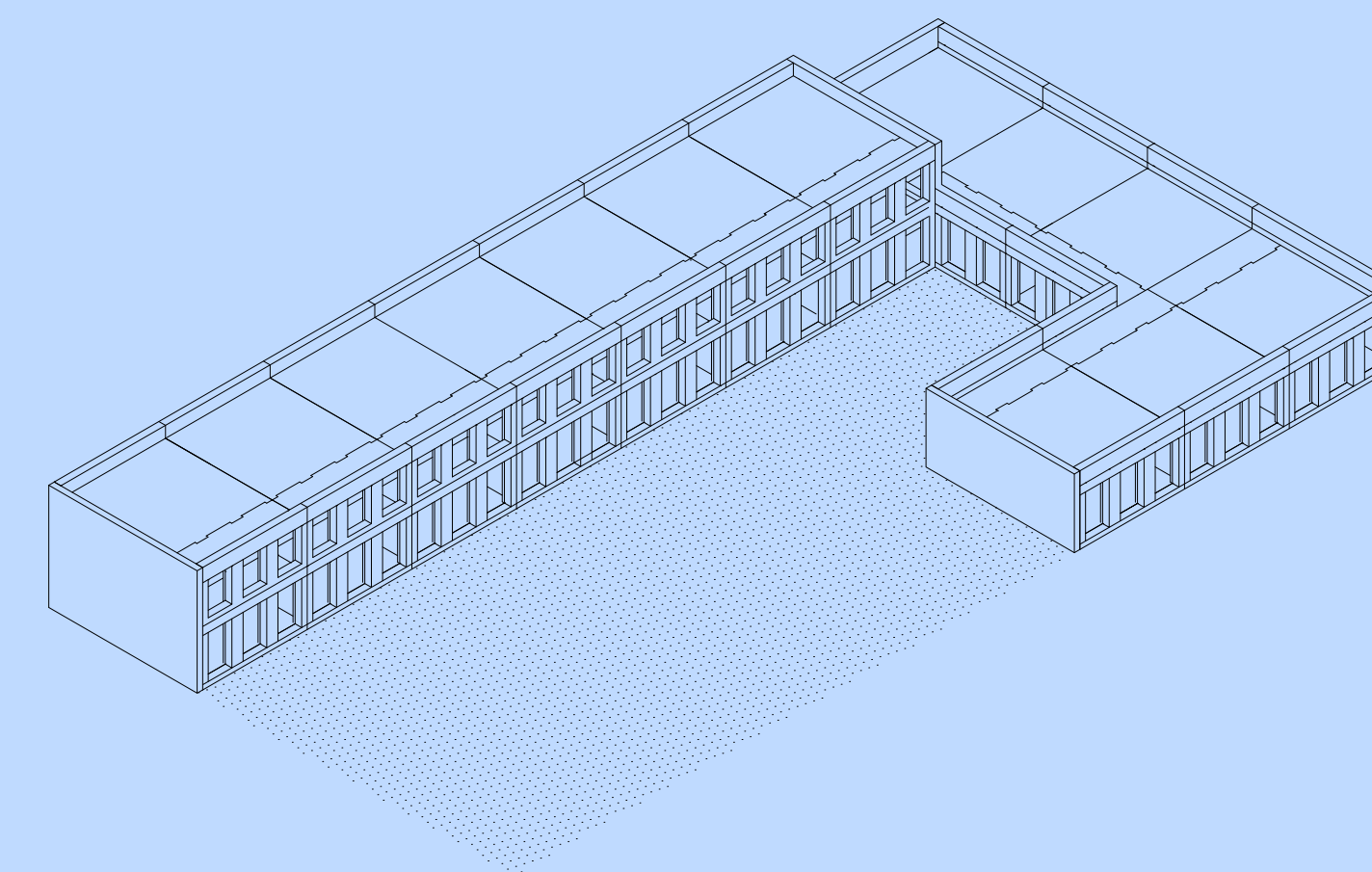
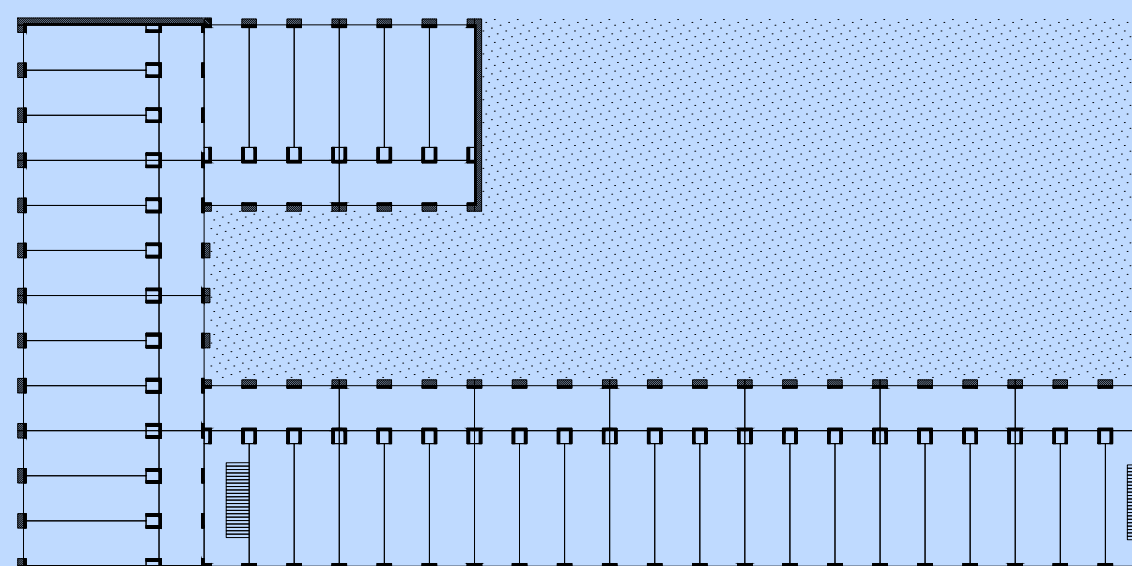
L'analyse de différents programmes scolaires permet de montrer qu'une école fondamentale comprenant une section de 3 classes de maternelles et 6 classes de primaires peut être convertie en 20 modules de classe. Voici quelques compositions d'écoles combinant 20 modules de classes, avec ou sans couloir et d'un ou de deux niveaux.



1.6 EXEMPLES

B / 20 MODULES

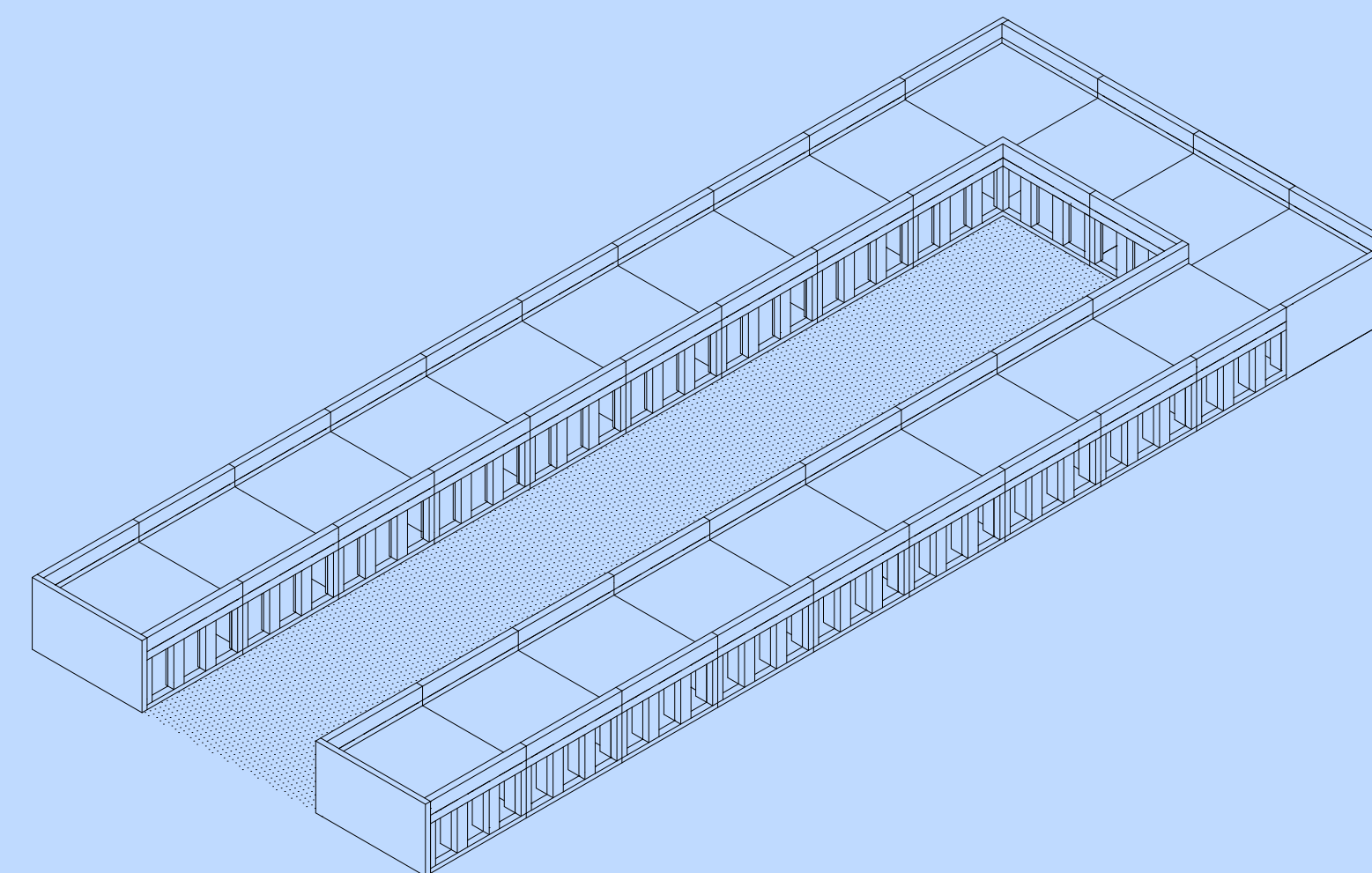
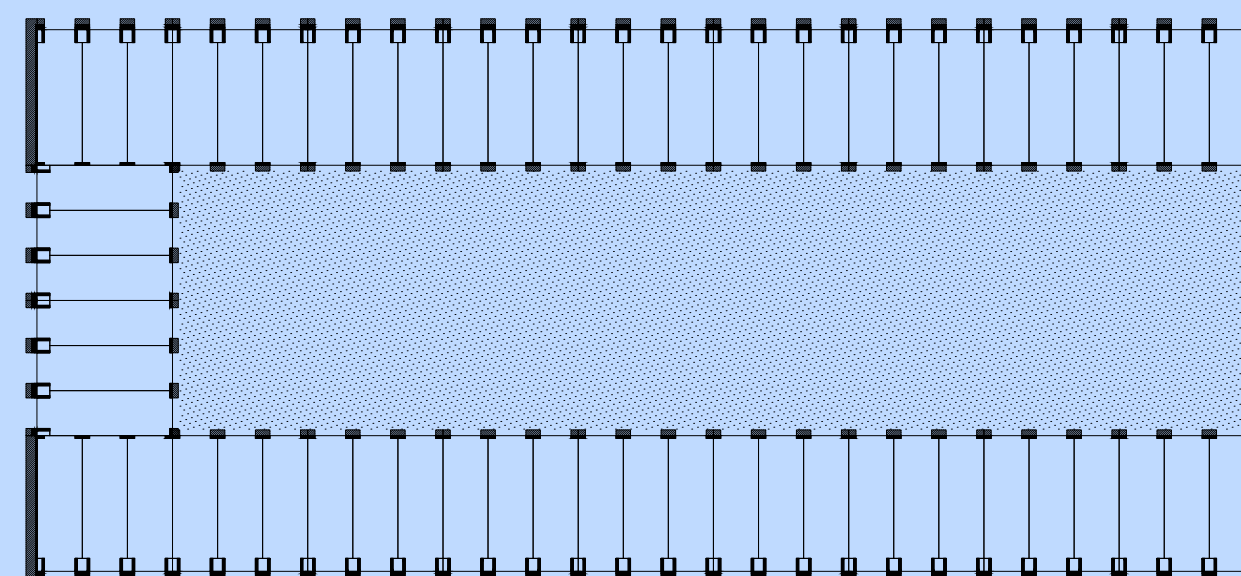
L'analyse de différents programmes scolaires permet de montrer qu'une école fondamentale comprenant une section de 3 classes de maternelles et 6 classes de primaires peut être convertie en 20 modules de classe. Voici quelques compositions d'écoles combinant 20 modules de classes, avec ou sans couloir et d'un ou de deux niveaux.



1.6 EXEMPLES

B / 20 MODULES

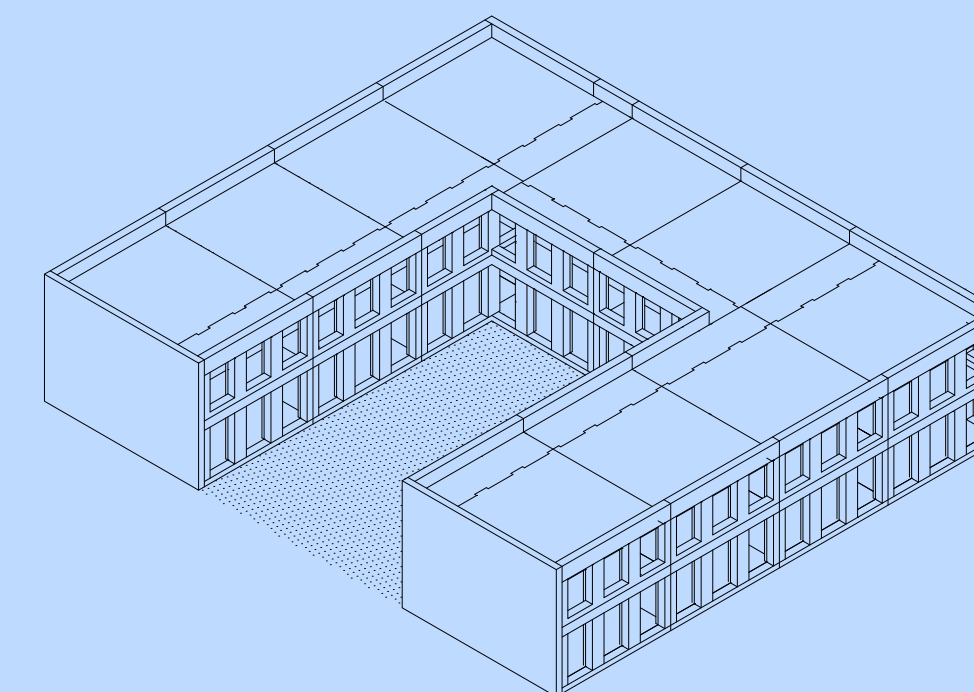
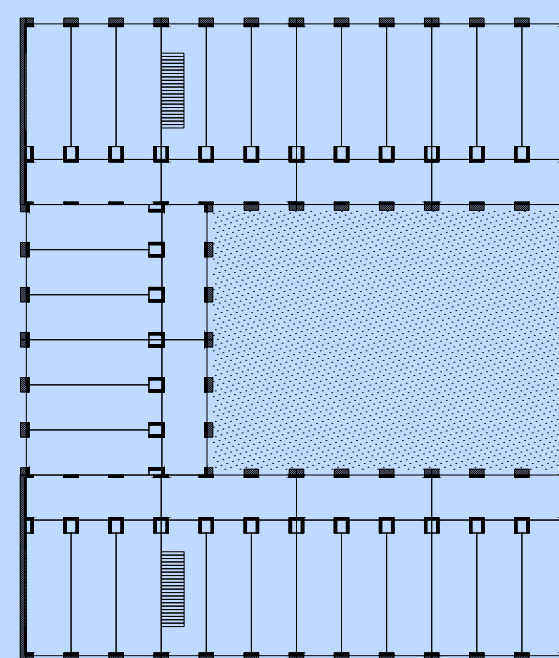
L'analyse de différents programmes scolaires permet de montrer qu'une école fondamentale comprenant une section de 3 classes de maternelles et 6 classes de primaires peut être convertie en 20 modules de classe. Voici quelques compositions d'écoles combinant 20 modules de classes, avec ou sans couloir et d'un ou de deux niveaux.



1.6 EXEMPLES

B / 20 MODULES

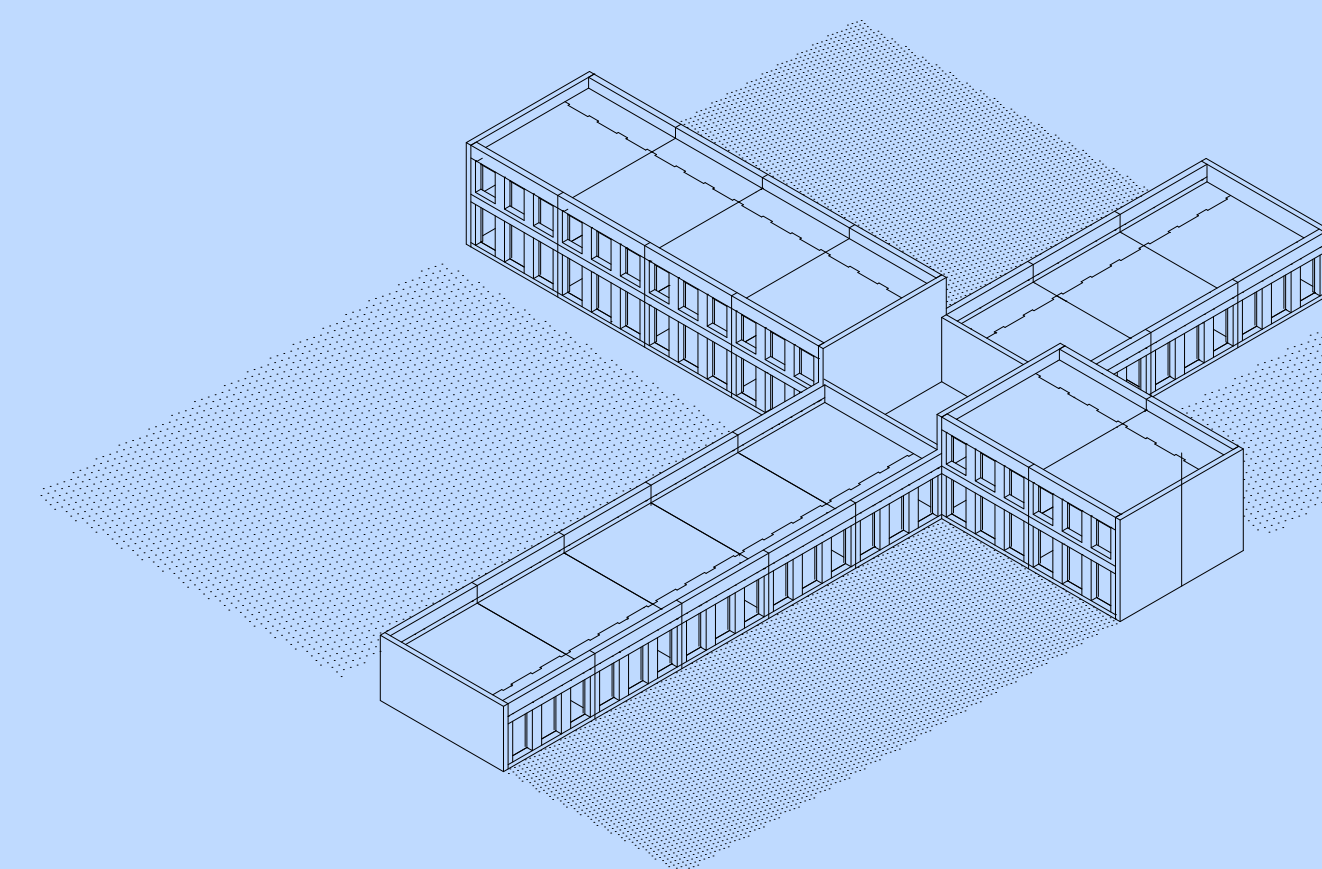
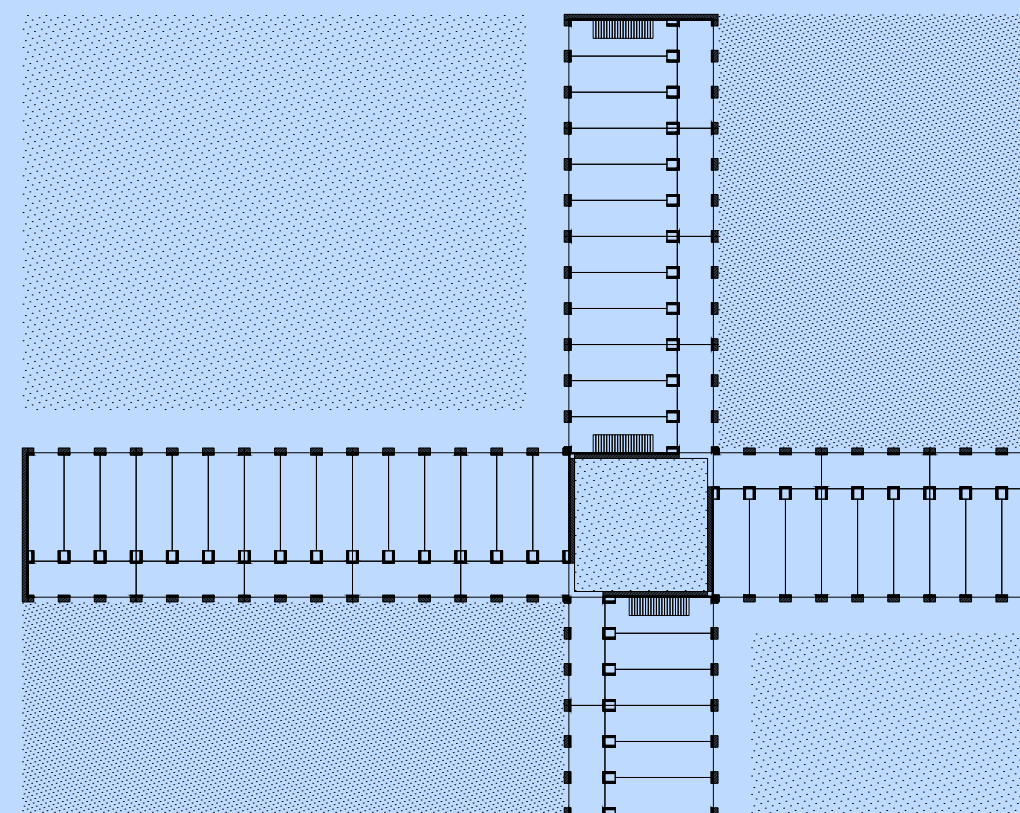
L'analyse de différents programmes scolaires permet de montrer qu'une école fondamentale comprenant une section de 3 classes de maternelles et 6 classes de primaires peut être convertie en 20 modules de classe. Voici quelques compositions d'écoles combinant 20 modules de classes, avec ou sans couloir et d'un ou de deux niveaux.



1.6 EXEMPLES

B / 20 MODULES

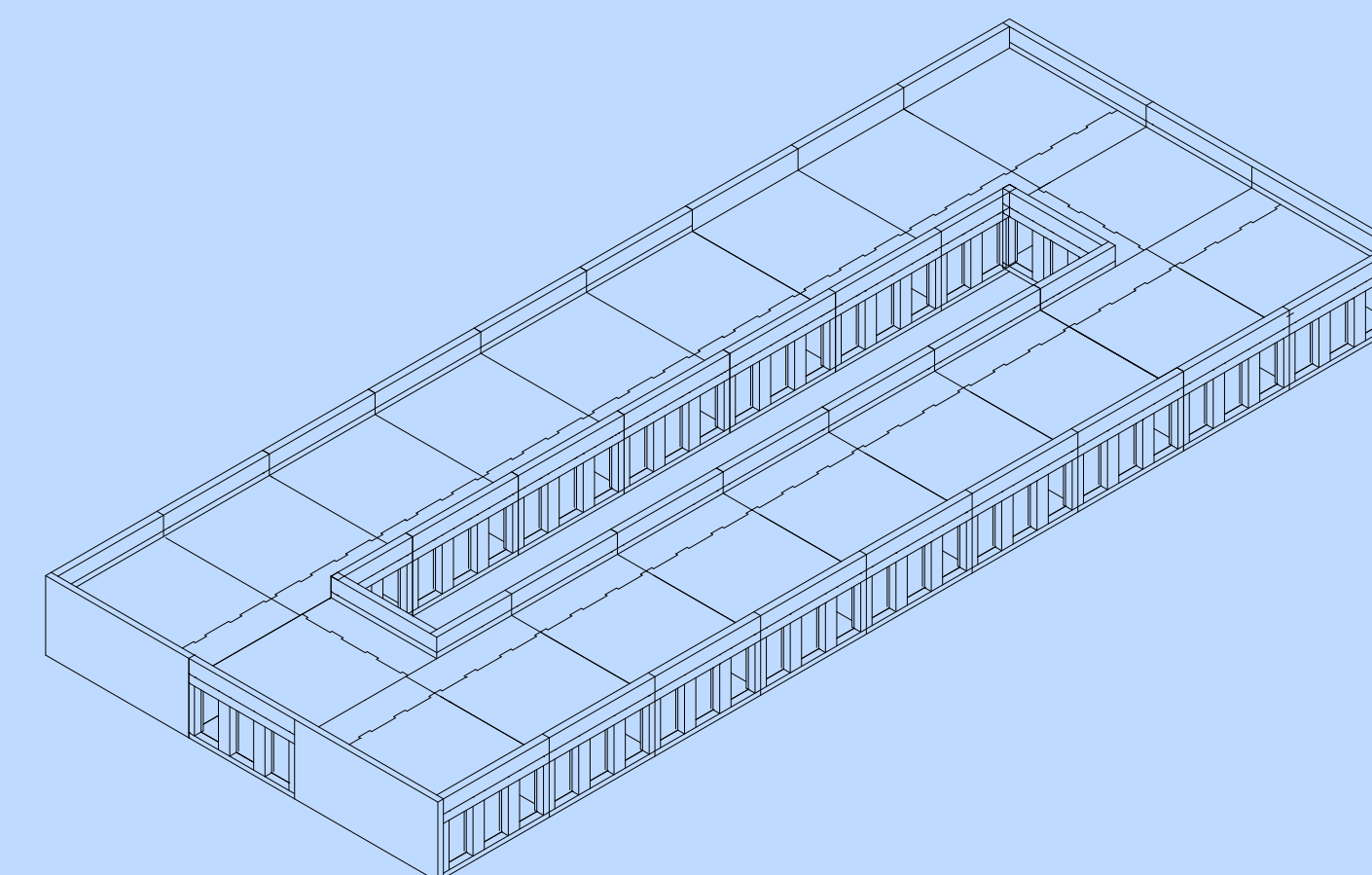
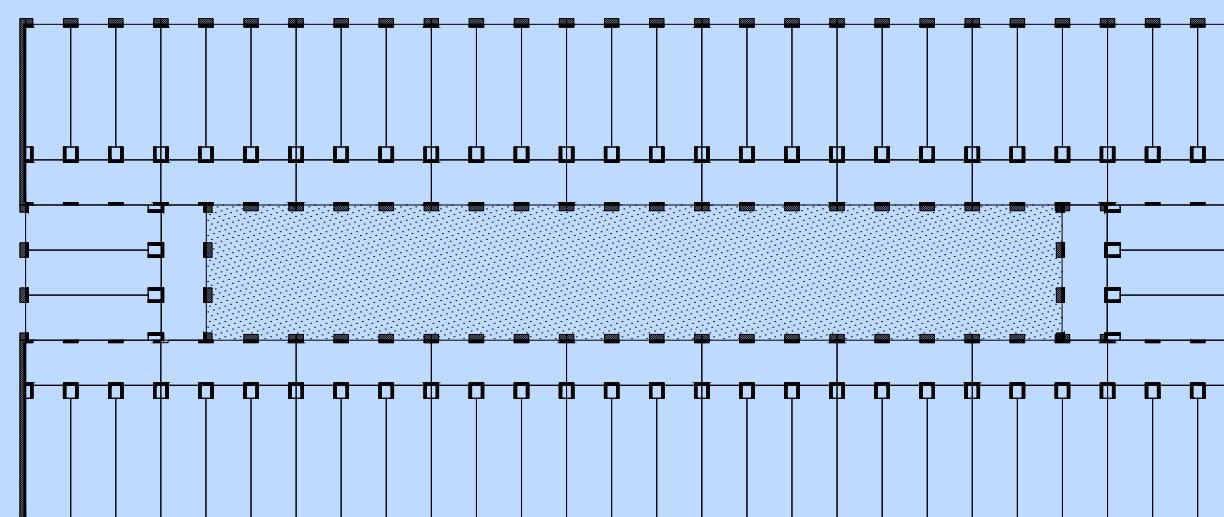
L'analyse de différents programmes scolaires permet de montrer qu'une école fondamentale comprenant une section de 3 classes de maternelles et 6 classes de primaires peut être convertie en 20 modules de classe. Voici quelques compositions d'écoles combinant 20 modules de classes, avec ou sans couloir et d'un ou de deux niveaux.



1.6 EXEMPLES

B / 20 MODULES

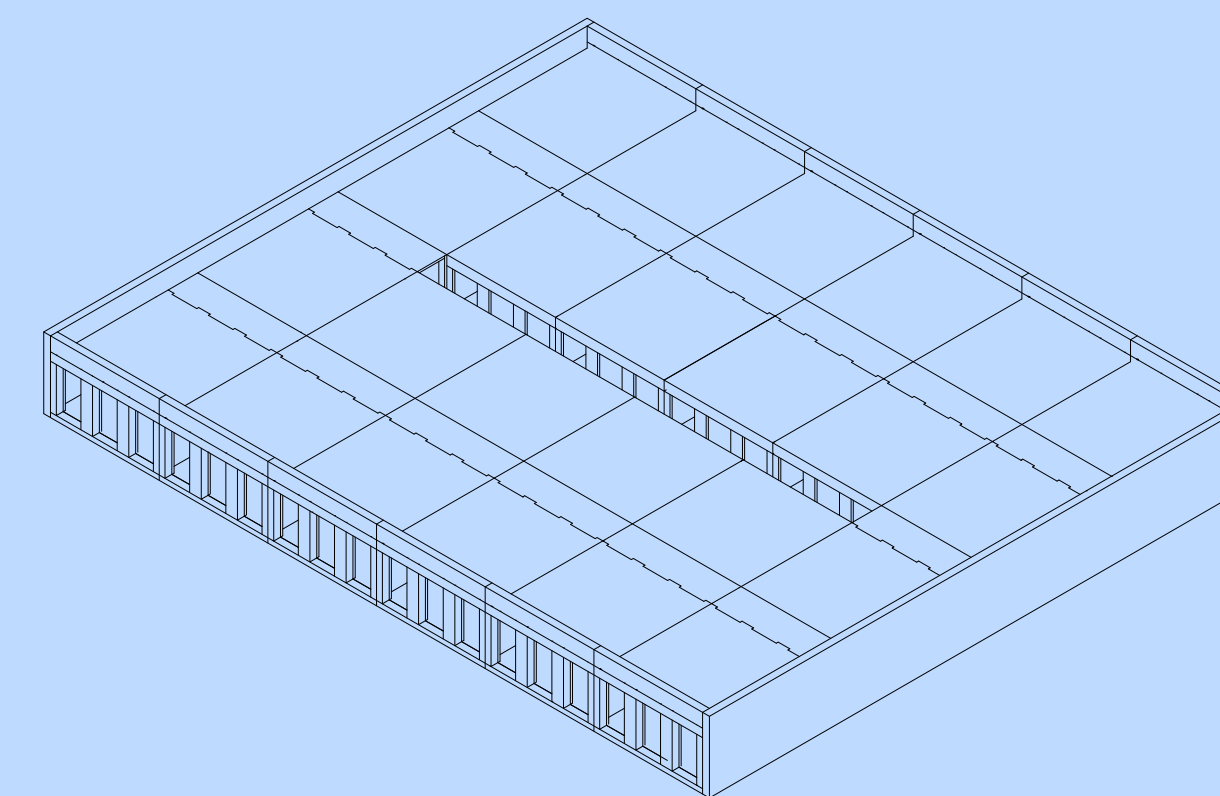
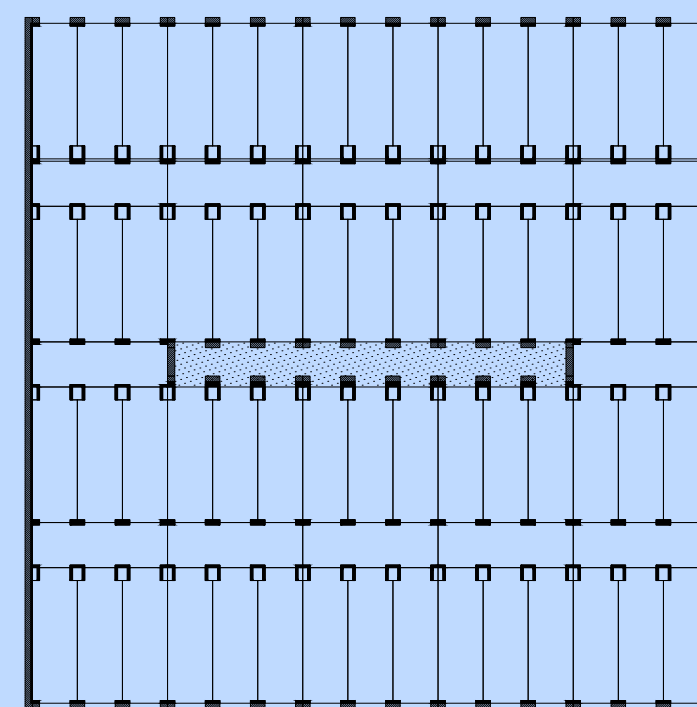
L'analyse de différents programmes scolaires permet de montrer qu'une école fondamentale comprenant une section de 3 classes de maternelles et 6 classes de primaires peut être convertie en 20 modules de classe. Voici quelques compositions d'écoles combinant 20 modules de classes, avec ou sans couloir et d'un ou de deux niveaux.



1.6 EXEMPLES

B / 20 MODULES

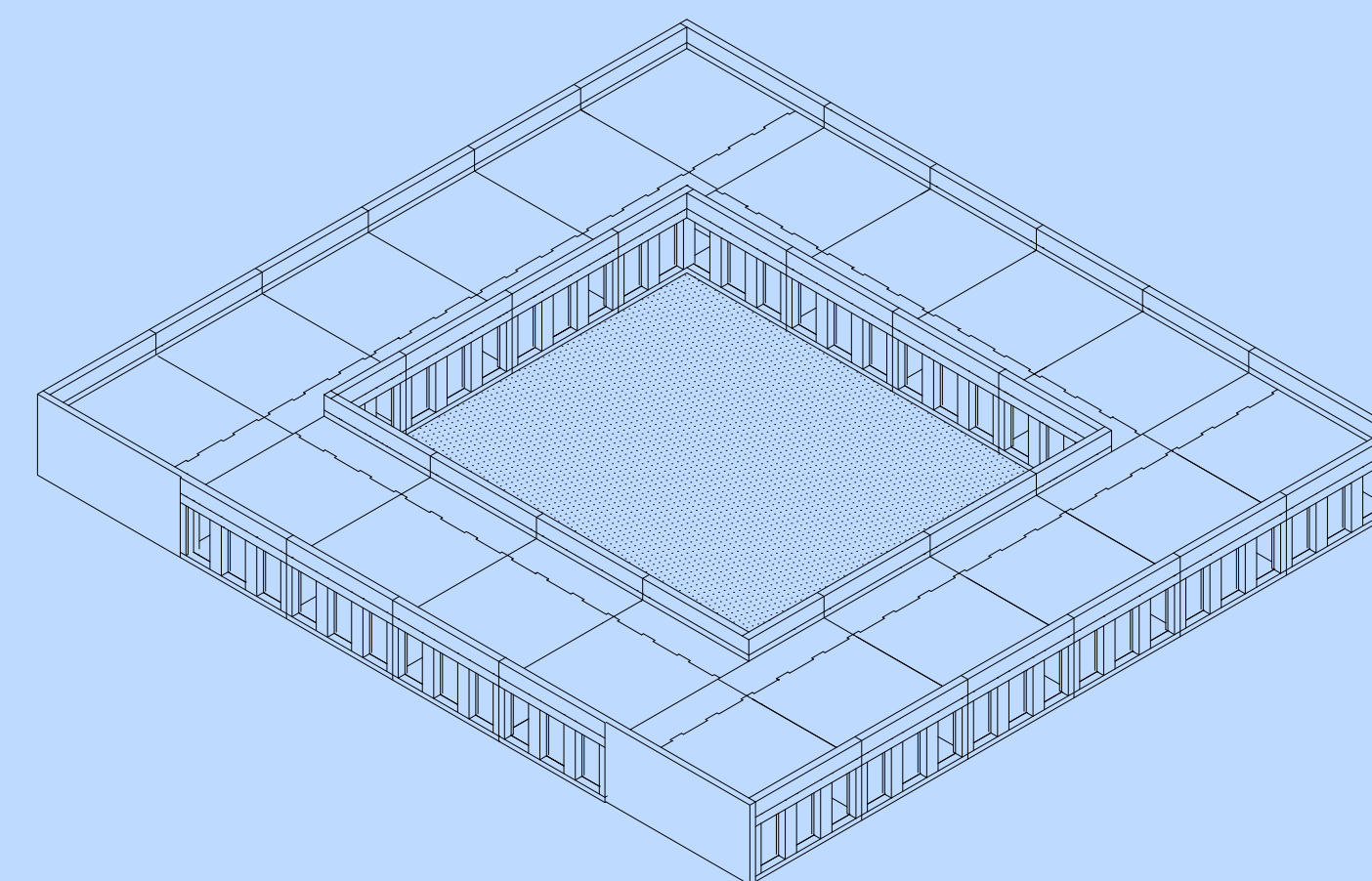
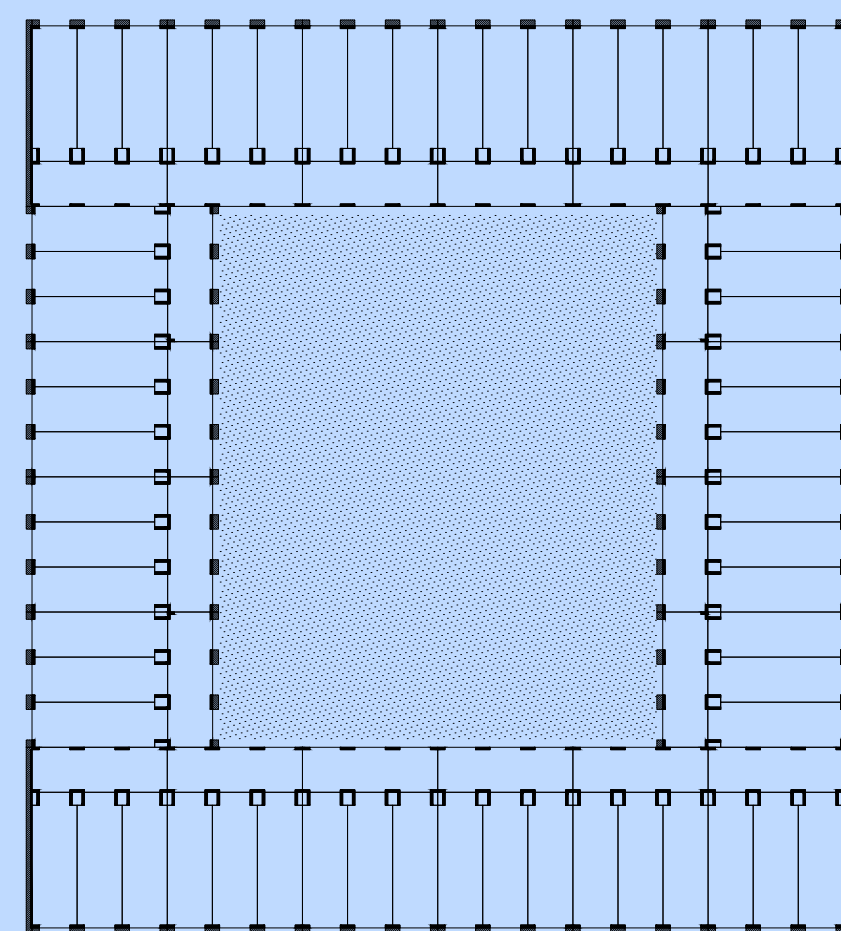
L'analyse de différents programmes scolaires permet de montrer qu'une école fondamentale comprenant une section de 3 classes de maternelles et 6 classes de primaires peut être convertie en 20 modules de classe. Voici quelques compositions d'écoles combinant 20 modules de classes, avec ou sans couloir et d'un ou de deux niveaux.



1.6 EXEMPLES

B / 20 MODULES

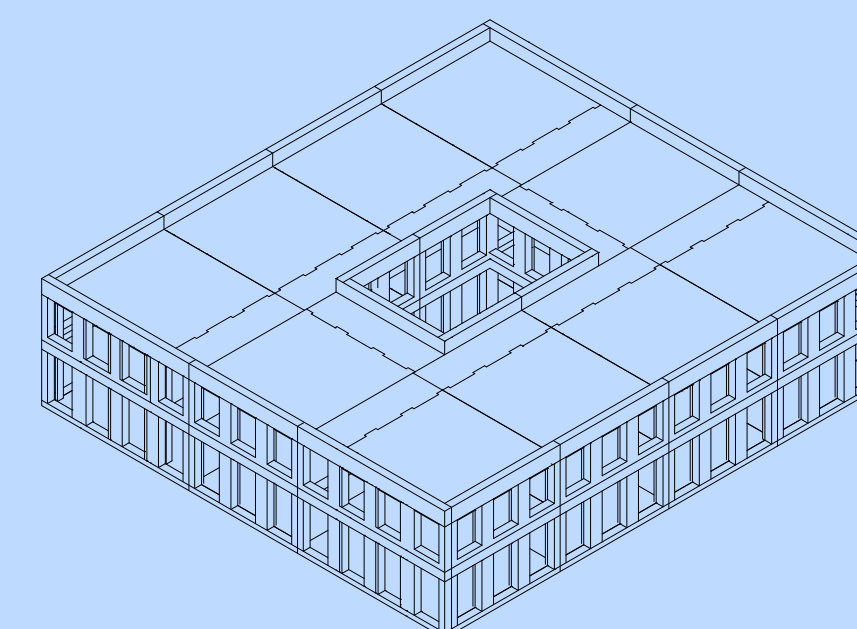
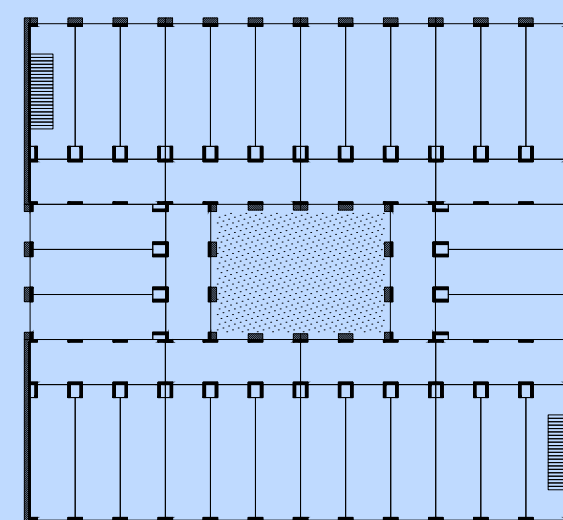
L'analyse de différents programmes scolaires permet de montrer qu'une école fondamentale comprenant une section de 3 classes de maternelles et 6 classes de primaires peut être convertie en 20 modules de classe. Voici quelques compositions d'écoles combinant 20 modules de classes, avec ou sans couloir et d'un ou de deux niveaux.



1.6 EXEMPLES

B / 20 MODULES

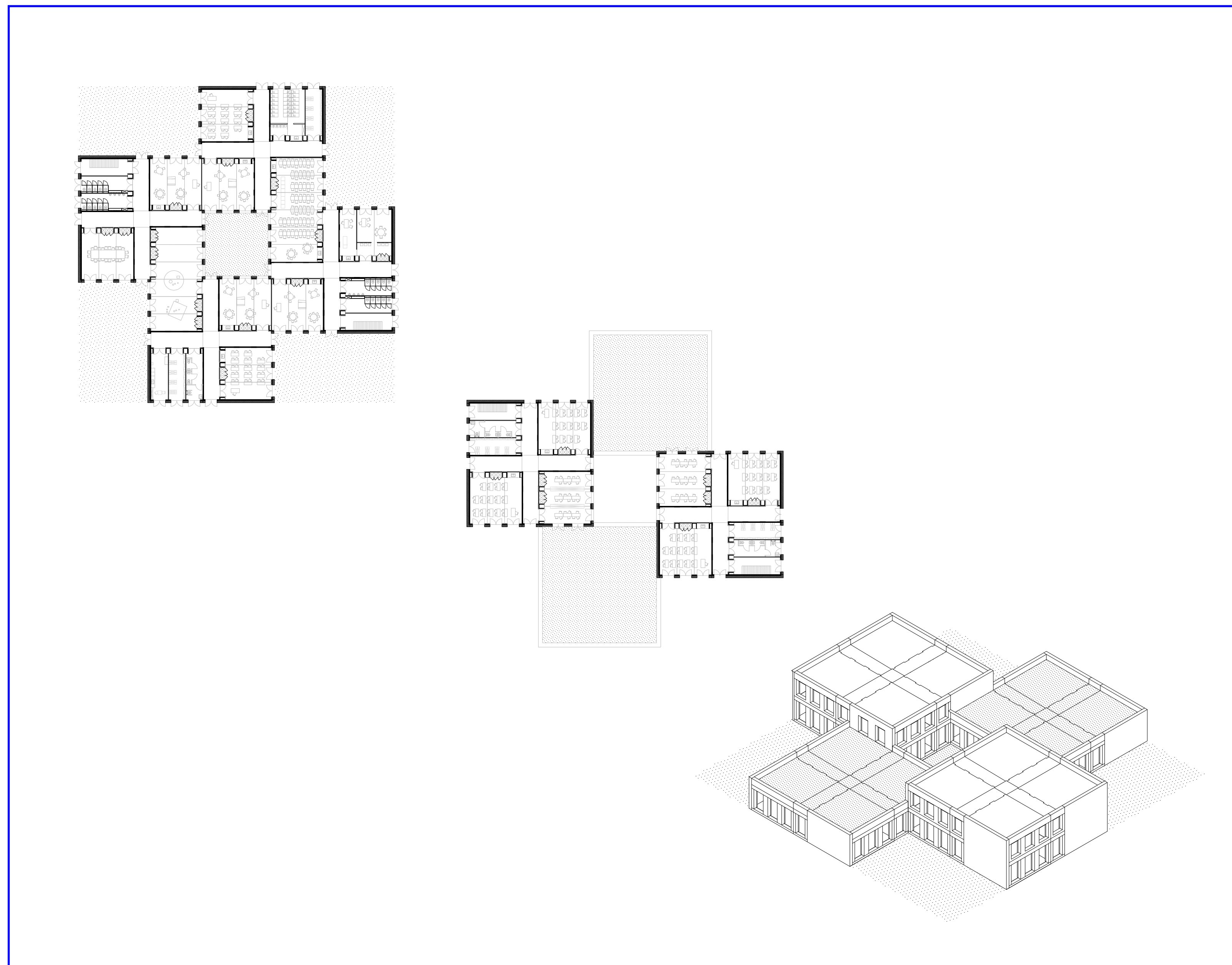
L'analyse de différents programmes scolaires permet de montrer qu'une école fondamentale comprenant une section de 3 classes de maternelles et 6 classes de primaires peut être convertie en 20 modules de classe. Voici quelques compositions d'écoles combinant 20 modules de classes, avec ou sans couloir et d'un ou de deux niveaux.



1.6 EXEMPLES

C / ORGANISATION INTERNE

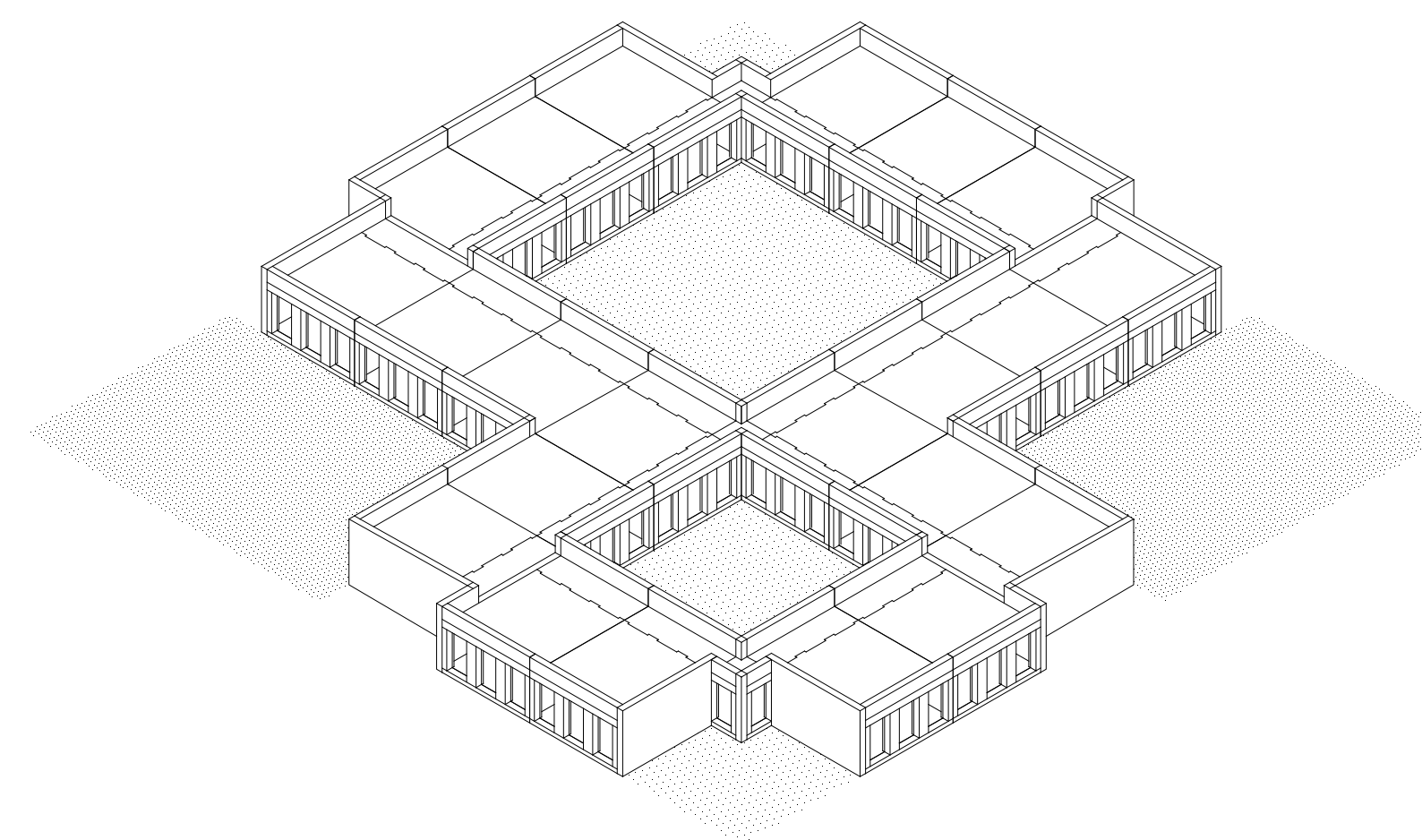
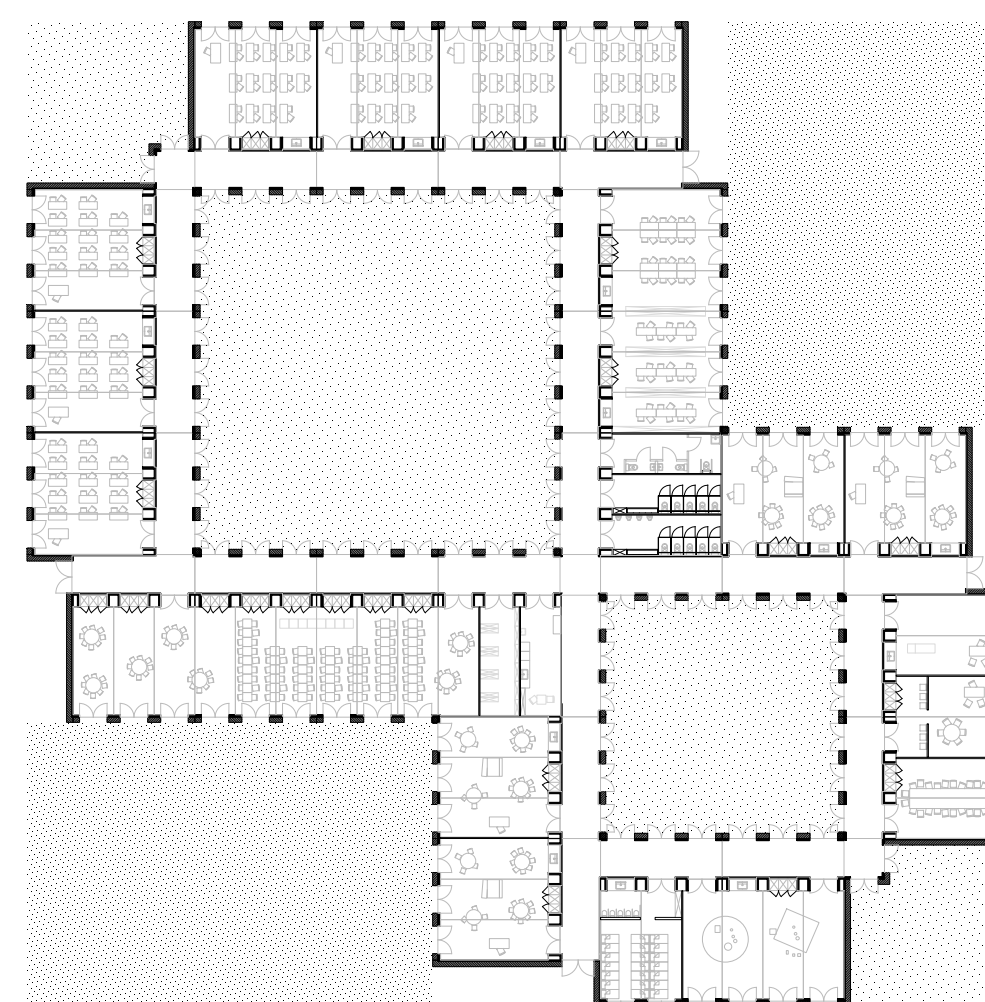
Les quelques exemples ci-contre permettent de comprendre comment les espaces intérieurs de l'école s'organisent les uns par rapport aux autres, permettant de nombreux choix pédagogiques.



1.6 EXEMPLES

C / ORGANISATION INTERNE

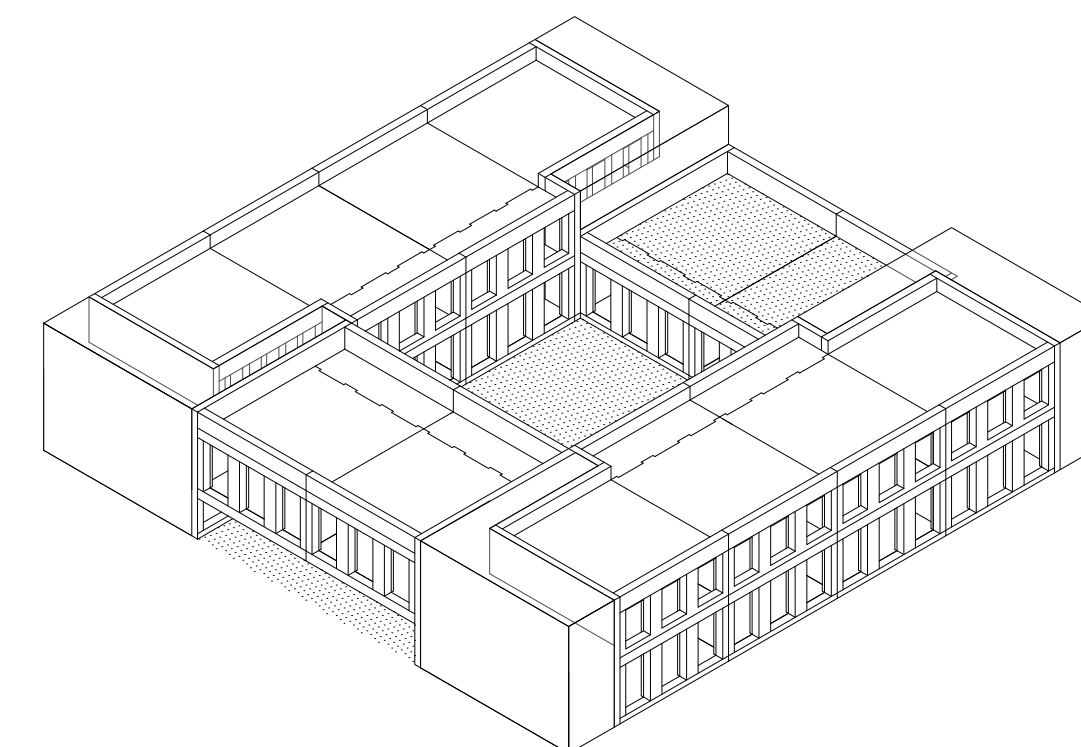
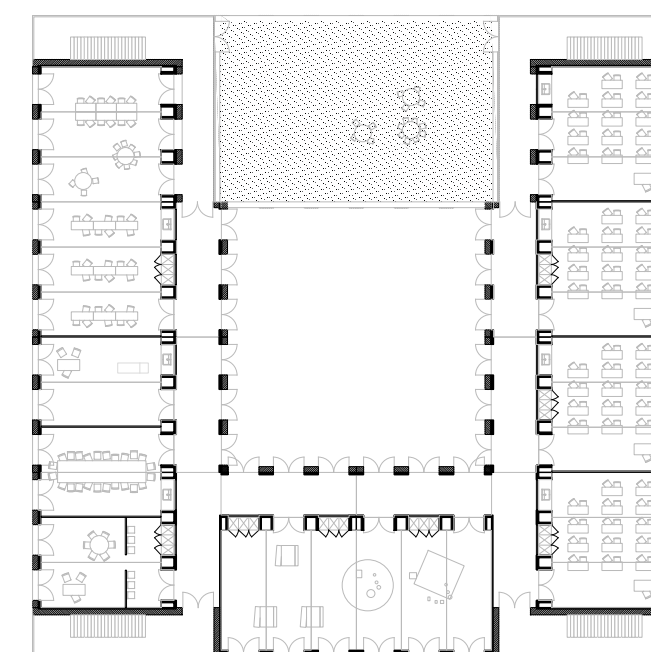
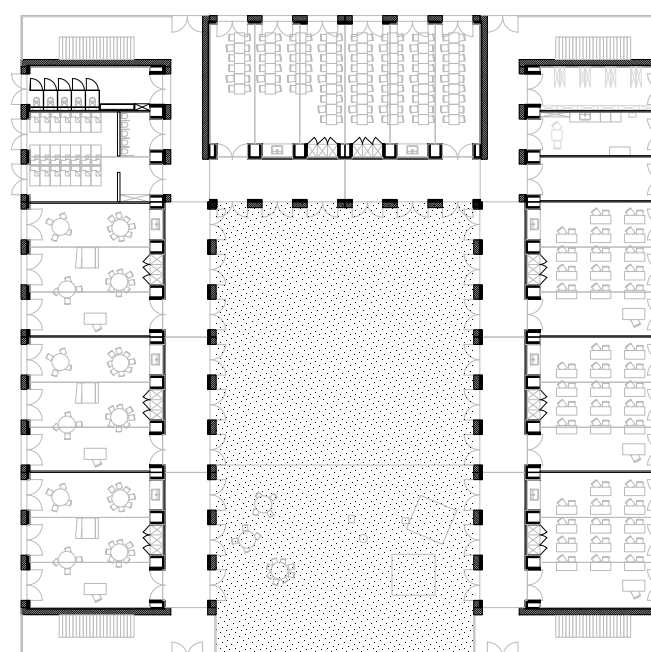
Les quelques exemples ci-contre permettent de comprendre comment les espaces intérieurs de l'école s'organisent les uns par rapport aux autres, permettant de nombreux choix pédagogiques.



1.6 EXEMPLES

C / ORGANISATION INTERNE

Les quelques exemples ci-contre permettent de comprendre comment les espaces intérieurs de l'école s'organisent les uns par rapport aux autres, permettant de nombreux choix pédagogiques.

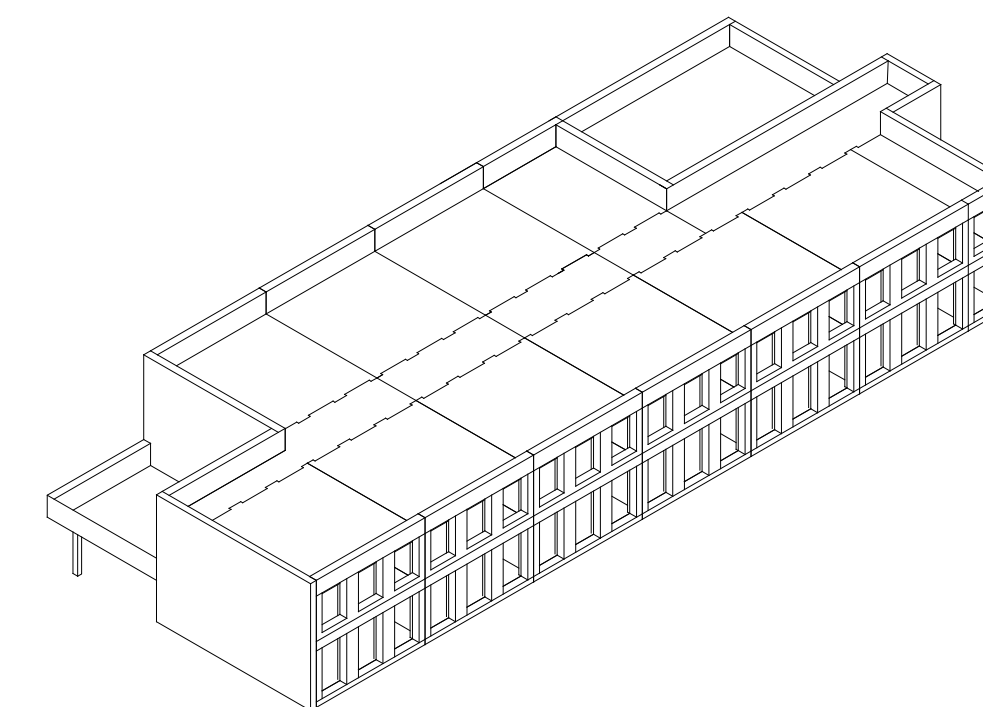
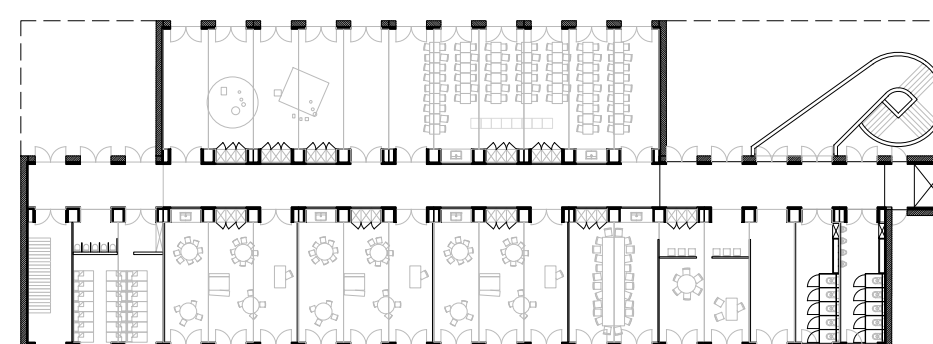
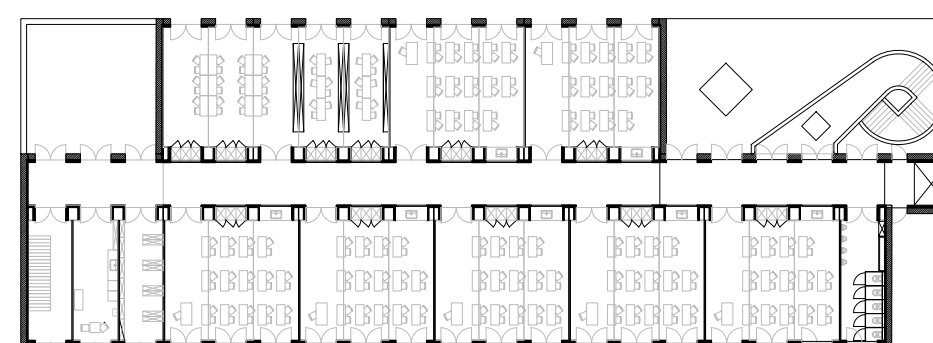


1.6 EXEMPLES

D / PROJET-PILOTE DE LA LOUVIÈRE

Plus encore que ces exemples composés hors contexte, le projet-pilote de la section fondamentale de l'Athénée royal de La Louvière permet de se faire une idée de ce à quoi peut ressembler une école construite sur base du système MODUL R. Ce projet comprend :

- Au rez-de-chaussée :
 - deux grands préaux (un pour les maternelles et l'autre pour les primaires, abritant l'entrée principale de l'école et un escalier extérieur menant à l'étage);
 - un réfectoire combiné à une salle polyvalente à l'avant du bâtiment;
 - un pôle administratif avec une salle des professeurs, un local de direction et un local PMS;
 - trois classes maternelles;
 - un local sieste;
 - des WC pour les maternelles (mixte) et les primaires (filles et garçons).
- À l'étage :
 - sept classes primaires,
 - une bibliothèque donnant sur une terrasse;
 - un local entretien;
 - un local archives;
 - des WC adultes et PMR.

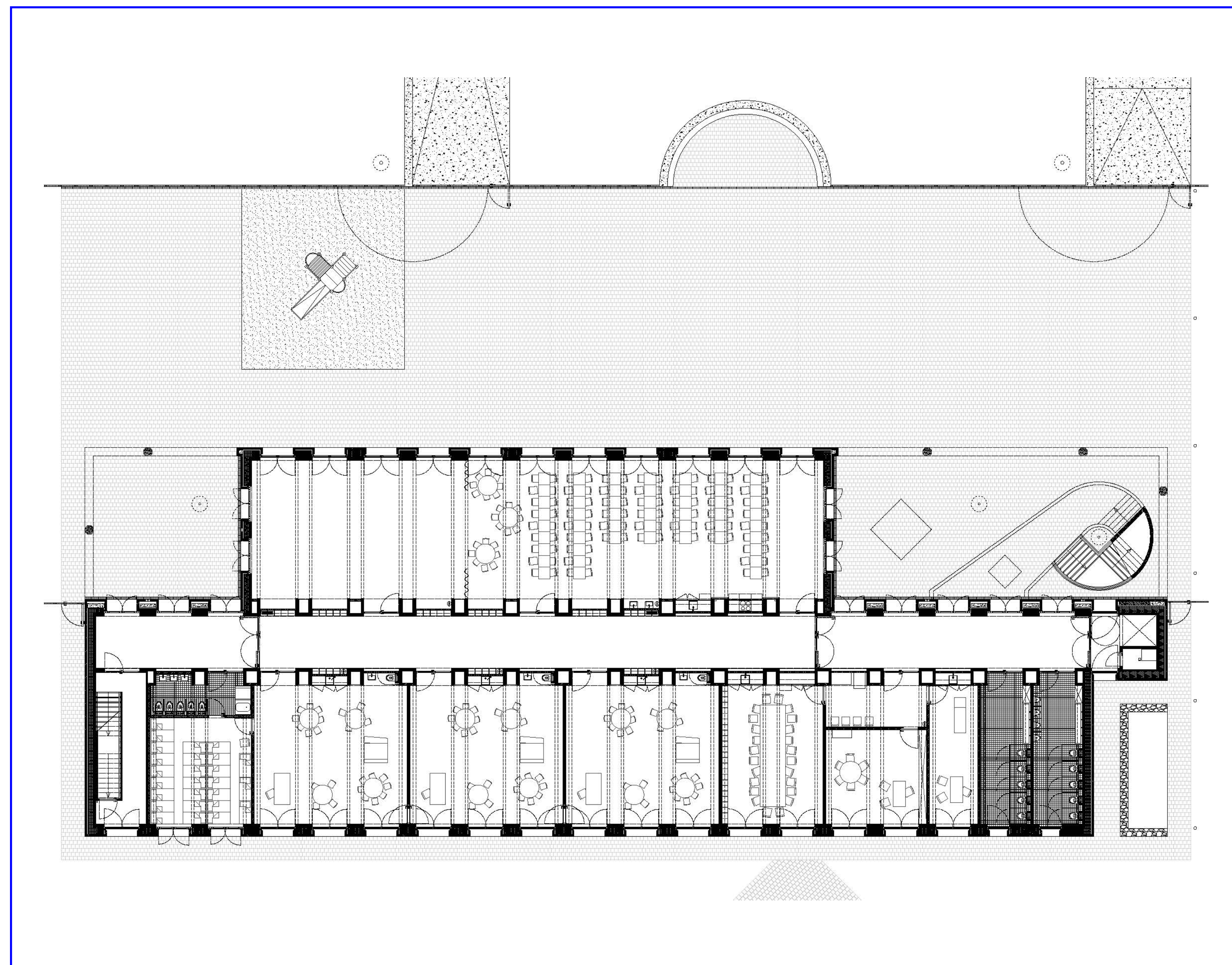


1.6 EXEMPLES

D / PROJET PILOTE DE LA LOUVIÈRE

Plus encore que ces exemples composés hors contexte, le projet-pilote de la section fondamentale de l'Athénée royal de La Louvière permet de se faire une idée de ce à quoi peut ressembler une école construite sur base du système MODUL R. Ce projet comprend :

- Au rez-de-chaussée :
 - deux grands préaux (un pour les maternelles et l'autre pour les primaires, abritant l'entrée principale de l'école et un escalier extérieur menant à l'étage);
 - un réfectoire combiné à une salle polyvalente à l'avant du bâtiment;
 - un pôle administratif avec une salle des professeurs, un local de direction et un local PMS;
 - trois classes maternelles;
 - un local sieste;
 - des WC pour les maternelles (mixte) et les primaires (filles et garçons).
- À l'étage :
 - sept classes primaires,
 - une bibliothèque donnant sur une terrasse;
 - un local entretien;
 - un local archives;
 - des WC adultes et PMR.

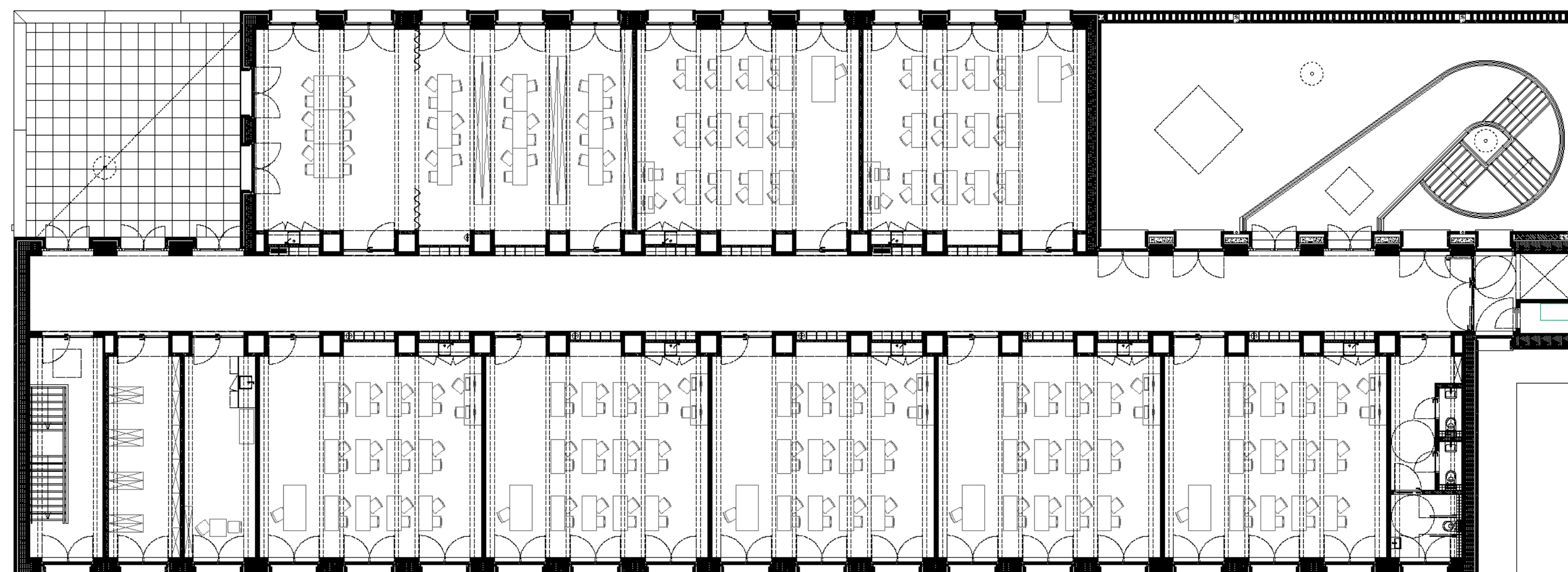


1.6 EXEMPLES

D / PROJET PILOTE DE LA LOUVIÈRE

Plus encore que ces exemples composés hors contexte, le projet-pilote de la section fondamentale de l'Athénée royal de La Louvière permet de se faire une idée de ce à quoi peut ressembler une école construite sur base du système MODUL R. Ce projet comprend :

- Au rez-de-chaussée :
 - deux grands préaux (un pour les maternelles et l'autre pour les primaires, abritant l'entrée principale de l'école et un escalier extérieur menant à l'étage);
 - un réfectoire combiné à une salle polyvalente à l'avant du bâtiment;
 - un pôle administratif avec une salle des professeurs, un local de direction et un local PMS;
 - trois classes maternelles;
 - un local sieste;
 - des WC pour les maternelles (mixte) et les primaires (filles et garçons).
- À l'étage :
 - sept classes primaires,
 - une bibliothèque donnant sur une terrasse;
 - un local entretien;
 - un local archives;
 - des WC adultes et PMR.

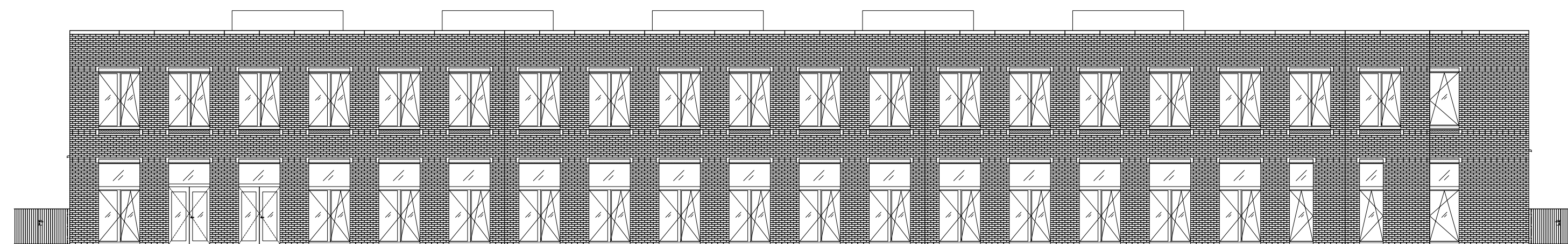
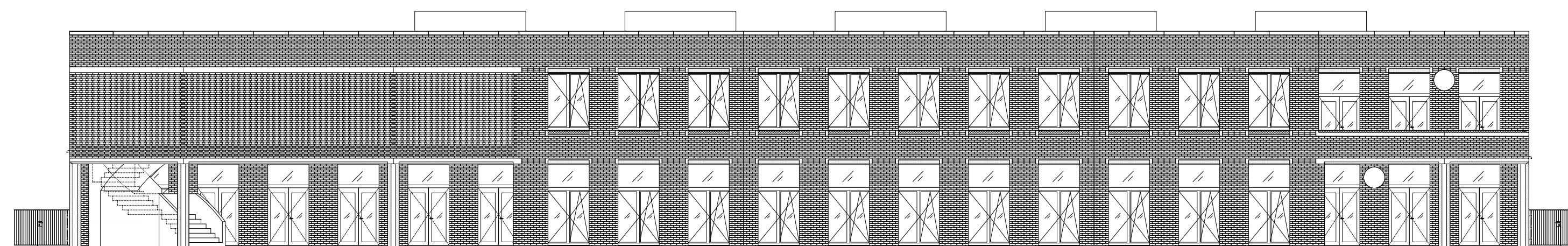


1.6 EXEMPLES

D / PROJET PILOTE DE LA LOUVIÈRE

Plus encore que ces exemples composés hors contexte, le projet-pilote de la section fondamentale de l'Athénée royal de La Louvière permet de se faire une idée de ce à quoi peut ressembler une école construite sur base du système MODUL R. Ce projet comprend :

- Au rez-de-chaussée :
 - deux grands préaux (un pour les maternelles et l'autre pour les primaires, abritant l'entrée principale de l'école et un escalier extérieur menant à l'étage);
 - un réfectoire combiné à une salle polyvalente à l'avant du bâtiment;
 - un pôle administratif avec une salle des professeurs, un local de direction et un local PMS;
 - trois classes maternelles;
 - un local sieste;
 - des WC pour les maternelles (mixte) et les primaires (filles et garçons).
- À l'étage :
 - sept classes primaires,
 - une bibliothèque donnant sur une terrasse;
 - un local entretien;
 - un local archives;
 - des WC adultes et PMR.



1.6 EXEMPLES

D / PROJET PILOTE DE LA LOUVIÈRE

Plus encore que ces exemples composés hors contexte, le projet-pilote de la section fondamentale de l'Athénée royal de La Louvière permet de se faire une idée de ce à quoi peut ressembler une école construite sur base du système MODUL R. Ce projet comprend :

- Au rez-de-chaussée :
 - deux grands préaux (un pour les maternelles et l'autre pour les primaires, abritant l'entrée principale de l'école et un escalier extérieur menant à l'étage);
 - un réfectoire combiné à une salle polyvalente à l'avant du bâtiment;
 - un pôle administratif avec une salle des professeurs, un local de direction et un local PMS;
 - trois classes maternelles;
 - un local sieste;
 - des WC pour les maternelles (mixte) et les primaires (filles et garçons).
- À l'étage :
 - sept classes primaires,
 - une bibliothèque donnant sur une terrasse;
 - un local entretien;
 - un local archives;
 - des WC adultes et PMR.

Les photos du **mockup** ci-contre permettent de donner une idée des futurs espaces intérieurs du projet-pilote.



1.6 EXEMPLES

D / PROJET PILOTE DE LA LOUVIÈRE

Plus encore que ces exemples composés hors contexte, le projet-pilote de la section fondamentale de l'Athénée royal de La Louvière permet de se faire une idée de ce à quoi peut ressembler une école construite sur base du système MODUL R. Ce projet comprend :

- Au rez-de-chaussée :
 - deux grands préaux (un pour les maternelles et l'autre pour les primaires, abritant l'entrée principale de l'école et un escalier extérieur menant à l'étage);
 - un réfectoire combiné à une salle polyvalente à l'avant du bâtiment;
 - un pôle administratif avec une salle des professeurs, un local de direction et un local PMS;
 - trois classes maternelles;
 - un local sieste;
 - des WC pour les maternelles (mixte) et les primaires (filles et garçons).
- À l'étage :
 - sept classes primaires,
 - une bibliothèque donnant sur une terrasse;
 - un local entretien;
 - un local archives;
 - des WC adultes et PMR.

Les photos du **mockup** ci-contre permettent de donner une idée des futurs espaces intérieurs du projet-pilote.



1.6 EXEMPLES

D / PROJET PILOTE DE LA LOUVIÈRE

Plus encore que ces exemples composés hors contexte, le projet-pilote de la section fondamentale de l'Athénée royal de La Louvière permet de se faire une idée de ce à quoi peut ressembler une école construite sur base du système MODUL R. Ce projet comprend :

- Au rez-de-chaussée :
 - deux grands préaux (un pour les maternelles et l'autre pour les primaires, abritant l'entrée principale de l'école et un escalier extérieur menant à l'étage);
 - un réfectoire combiné à une salle polyvalente à l'avant du bâtiment;
 - un pôle administratif avec une salle des professeurs, un local de direction et un local PMS;
 - trois classes maternelles;
 - un local sieste;
 - des WC pour les maternelles (mixte) et les primaires (filles et garçons).
- À l'étage :
 - sept classes primaires,
 - une bibliothèque donnant sur une terrasse;
 - un local entretien;
 - un local archives;
 - des WC adultes et PMR.

Les photos du **mockup** ci-contre permettent de donner une idée des futurs espaces intérieurs du projet-pilote.

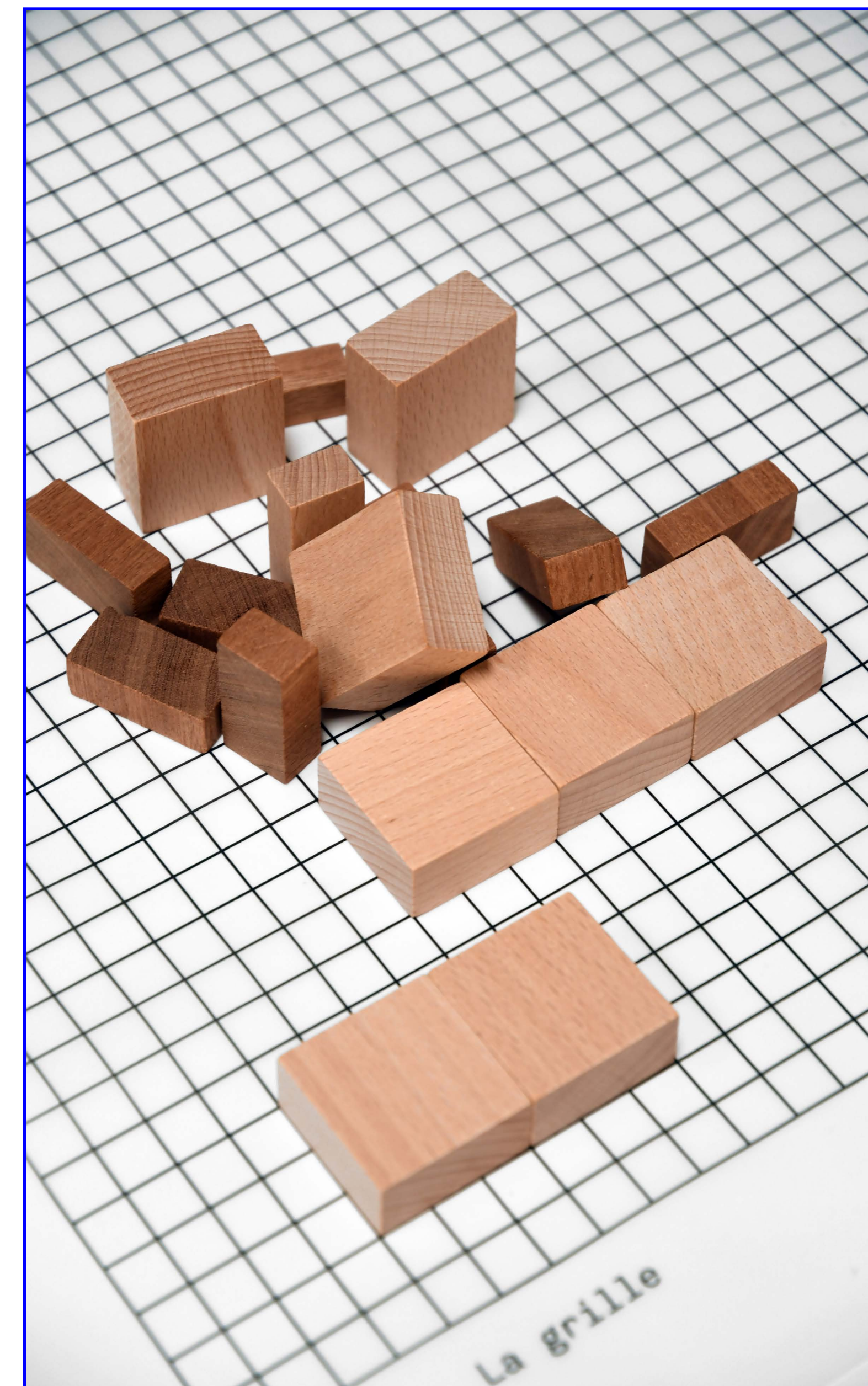
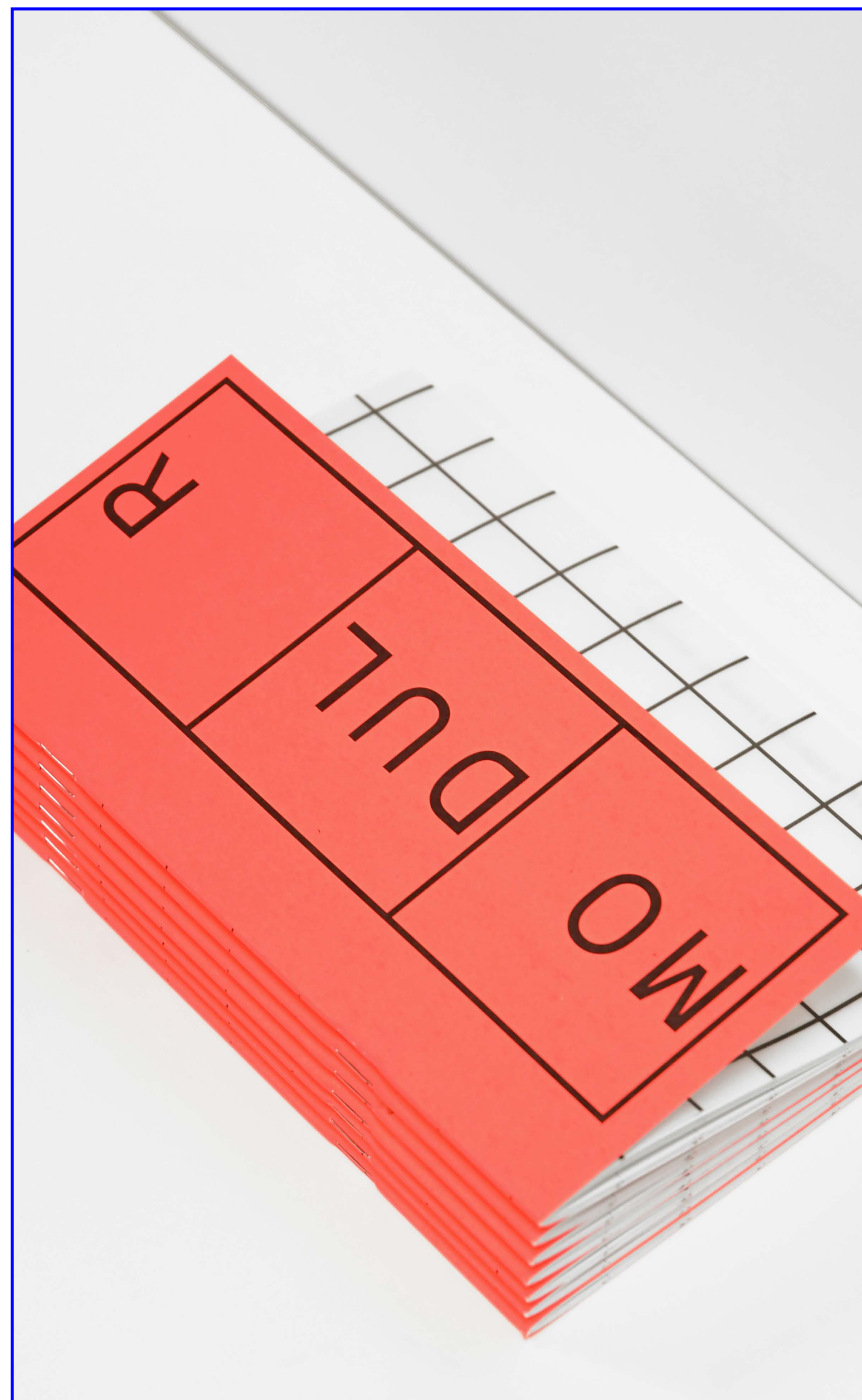


1.7 PRÊT À JOUER ?

Afin de rendre didactique le processus de composition d'une école avec le système MODULR, un jeu a été créé. Il permet de réaliser de premières études volumétriques sur les terrains disponibles pour construire des écoles à partir de quelques éléments :

- un mode d'emploi, ou des règles du jeu reprenant les 4 étapes de composition expliquées dans ce volume du vade-mecum,
- des volumes en bois symbolisant les modules préfabriqués à l'échelle 1/100 (ou 1/200 pour le jeu de voyage):
 - modules de classe (ou de tiers de classe);
 - modules de circulation horizontale (ou de tiers de circulation horizontale);
 - modules de circulation verticale (ou d'ascenseur);
- une grille reprenant la trame au 1/100 de 2.65m par 2.65m. Imprimée sur un support transparent, cette grille peut être disposée sur un plan du terrain à bâtir tracé à la même échelle.

Ce jeu est un outil de composition qui fait abstraction de toute une série de détails techniques, permettant à des non-architectes d'inventer leur école. Mais il est aussi un outil de communication puisqu'il permet d'expliquer simplement aux communautés scolaires (enseignants, direction, parents et enfants) quels projets sont possibles pour leurs futures écoles !





Le deuxième volume du vade-mecum présente les principes et les performances du système MODUL R ainsi que les grandes lignes de la recherche qui a permis sa mise au point.

02

VOLUME 2 – CONSTITUTION	59		
2.1 <u>CONCEPTS FONDAMENTAUX</u>	61	F / Acoustique	98
A / Modularité et autonomie	61	I. Joints acoustiques	98
B / Construction en bois	62	II. Planchers	99
C / Emboîtement d'échelles	63	III. Absorption acoustique	100
		G / HVAC	101
2.2 <u>ÉCHELLE 1: ENSEMBLES</u>	64	I. Type de système	101
A / Programme	65	II. Ventilation - production	102
B / Production	66	III. Ventilation - distribution	103
C / Sites	67	IV. Chauffage - production	104
D / Hauteur	68	V. Chauffage - distribution	105
E / Performances visées	69	VI. Régulation	106
I. Acoustique	70	H / Premier équipement	107
II. Sismique	71	I. Cloisons	107
III. Prévention incendie	72	II. Électricité - module classe	108
IV. Thermique	73	III. Électricité - module couloir	109
V. Éclairage naturel	74	IV. Sanitaire	110
VI. Surchauffe	75	I / Résultat	111
VII. Qualité de l'air intérieur et ventilation	76	2.4 <u>ÉCHELLE 3: ÉLÉMENTS</u>	112
VIII. Impacts environnementaux, durée de vie et circularité	77	A / Façades	113
		I. Éléments de façade	113
2.3 <u>ÉCHELLE 2: PARTIES</u>	79	II. Châssis	114
A / Les modules génériques	80	III. Murs pignons	115
B / Optimisation	81	IV. Acrotères	116
C / Dimensions et circulation	82	B / Piliers-gaines	117
I. Dimension du module de base	82	C / Dalles	118
II. Circulations horizontales	83	I. Classes	118
III. Circulations verticales	84	II. Couloirs	119
D / Structure	85	D / HVAC	120
I. Autonomie	85	I. Production	120
II. Sens de portée	86	II. Distribution	121
III. Types d'appuis	87	E / Cloisons intérieures	122
IV. Poutres et planchers	88	F / Mobilier	123
V. Sol	89	G / Signalétique	124
E / Enveloppe	90	I. Principes	124
I. Isolation	91	II. Mise en place	125
II. Étanchéité à l'air	94	2.5 <u>MOCKUP</u>	126
III. Percements	95	A / Vérifier	126
IV. Protections solaires	97	B / Éprouver	138

Ce deuxième volume s'organise en 5 chapitres :

1. Concepts fondamentaux

Ce chapitre aborde les choix réalisés par l'équipe de conception du système MODULR. Il aborde également la méthodologie de travail à trois échelles – ensembles, modules, éléments – qui servira de fil rouge dans ce volume.

2. Ensembles

Ce chapitre synthétise la première échelle de travail, celle de l'ensemble scolaire. À cette échelle sont abordées des questions de programme, de type de production d'école, de site, de nombre de niveaux ou encore de performances globales.

3. Modules

Ce chapitre développe la deuxième échelle de travail, celle des modules préfabriqués. À cette échelle sont abordées des questions de dimensions, d'acoustique, de structure, d'enveloppe extérieure, de HVAC et d'équipement.

4. Éléments

Ce chapitre développe la troisième échelle de travail, celle des éléments qui constituent les modules préfabriqués. À cette échelle sont abordées des questions de fabrication des façades, piliers-gaines, dalles, éléments HVAC, cloisons intérieures, mobilier et signalétique.

5. Mockup

Ce dernier chapitre illustre la construction d'un prototype du système MODULR chez le partenaire industriel, Stabilame.

MODUL R – CONDITIONS D'UTILISATION

20/04/2023

Développé sur base de financements publics, à l'initiative d'un pouvoir public et pour une mission d'utilité publique, MODULR est un outil qualitatif et performant au service des citoyens.

Le Consortium qui a conçu le système et la FW-B sont les copropriétaires intellectuels de la recherche.

Les conditions d'utilisation telles que définies actuellement prévoient que l'usage de MODULR est libre de droit pour tout projet de construction, modification ou rénovation d'une infrastructure accueillant un établissement scolaire officiellement reconnu par la Fédération Wallonie-Bruxelles.

L'utilisation du système MODULR est ainsi réservée aux architectes développant des projets d'infrastructures scolaires pour un pouvoir organisateur de la FW-B et exerçant légalement la profession sous statut ou sous contrat d'emploi, pour le compte d'une entité, publique ou privée, officiellement reconnue par la FW-B en tant que pouvoir organisateur d'une institution d'enseignement.

Bien évidemment, faire appel au système MODULR n'exempte en rien les porteurs d'un projet d'infrastructures, maîtres d'ouvrage et maître d'œuvre, de leurs responsabilités légales et pénales. Celles-ci demeurent pleines et entières et la FW-B ne peut être tenue responsable.

Plus d'informations :

<https://cellule.archi/fr/marches/modul-r>
cellule.archi@cfwb.be

2.1 CONCEPTS FONDAMENTAUX

A / MODULARITÉ ET AUTONOMIE

Le système MODULR repose sur le principe qu'une école fondamentale peut être réalisée par la répétition de modules identiques.

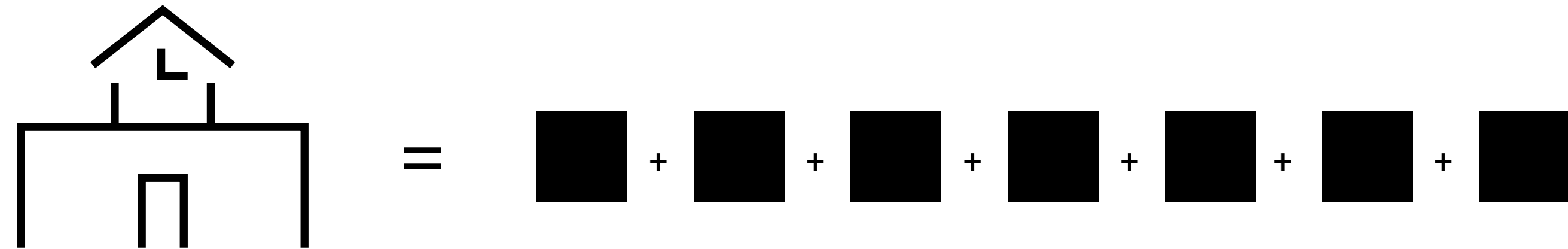
Le module principal correspond à une classe. Son fractionnement ou sa juxtaposition à d'autres modules permet de créer les autres espaces pédagogiques nécessaires.

Ces modules sont autonomes techniquement du point de vue :

- structurel : chaque module est autostable ;
- thermique : chaque module est indépendant en termes de production de chaleur ;
- de la ventilation : chaque module est autonome en termes de renouvellement de l'air.

Cette indépendance permet de générer différentes tailles d'écoles ou d'extensions d'écoles en fonction des besoins. Ainsi, il sera possible d'installer un module isolé en complément d'une école existante, tout comme il sera possible de générer une école complète en juxtaposant une série de modules.

D'autres modules, destinés aux circulations horizontales (couloirs) et verticales (escaliers et ascenseurs), complètent le système.



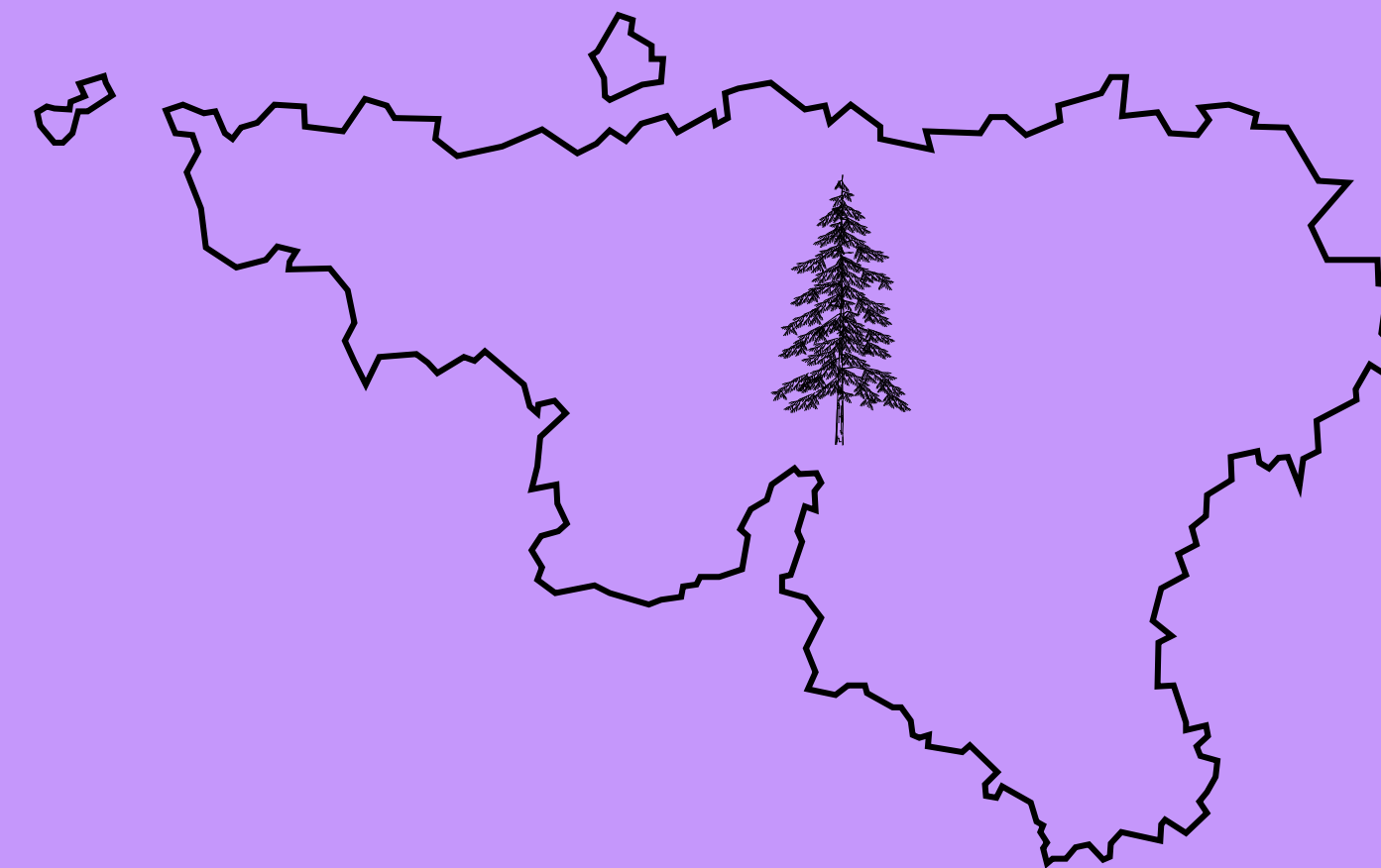
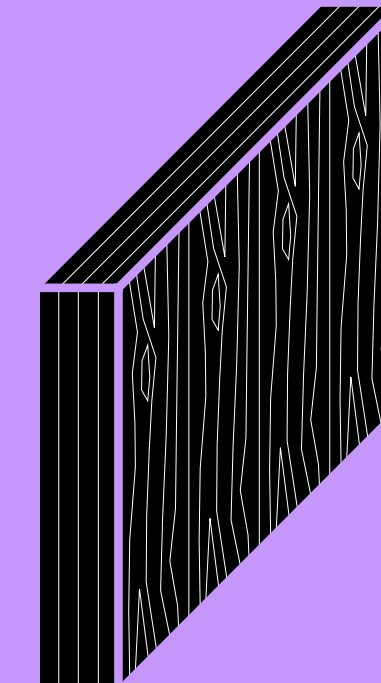
2.1 CONCEPTS FONDAMENTAUX

B / CONSTRUCTION EN BOIS

Outre le caractère modulaire du système, l'équipe a opté pour un matériau qui permet l'utilisation de ressources locales pour la construction de nouvelles écoles.

Le bois a été choisi comme matériau principal de construction pour des raisons :

- écologiques;
- de potentiel de production locale;
- de soutien à l'économie régionale;
- de possibilité de préfabrication et de montage « à sec »;
- de confort thermique et visuel.



2.1 CONCEPTS FONDAMENTAUX

C / EMBOÎTEMENT D'ÉCHELLES

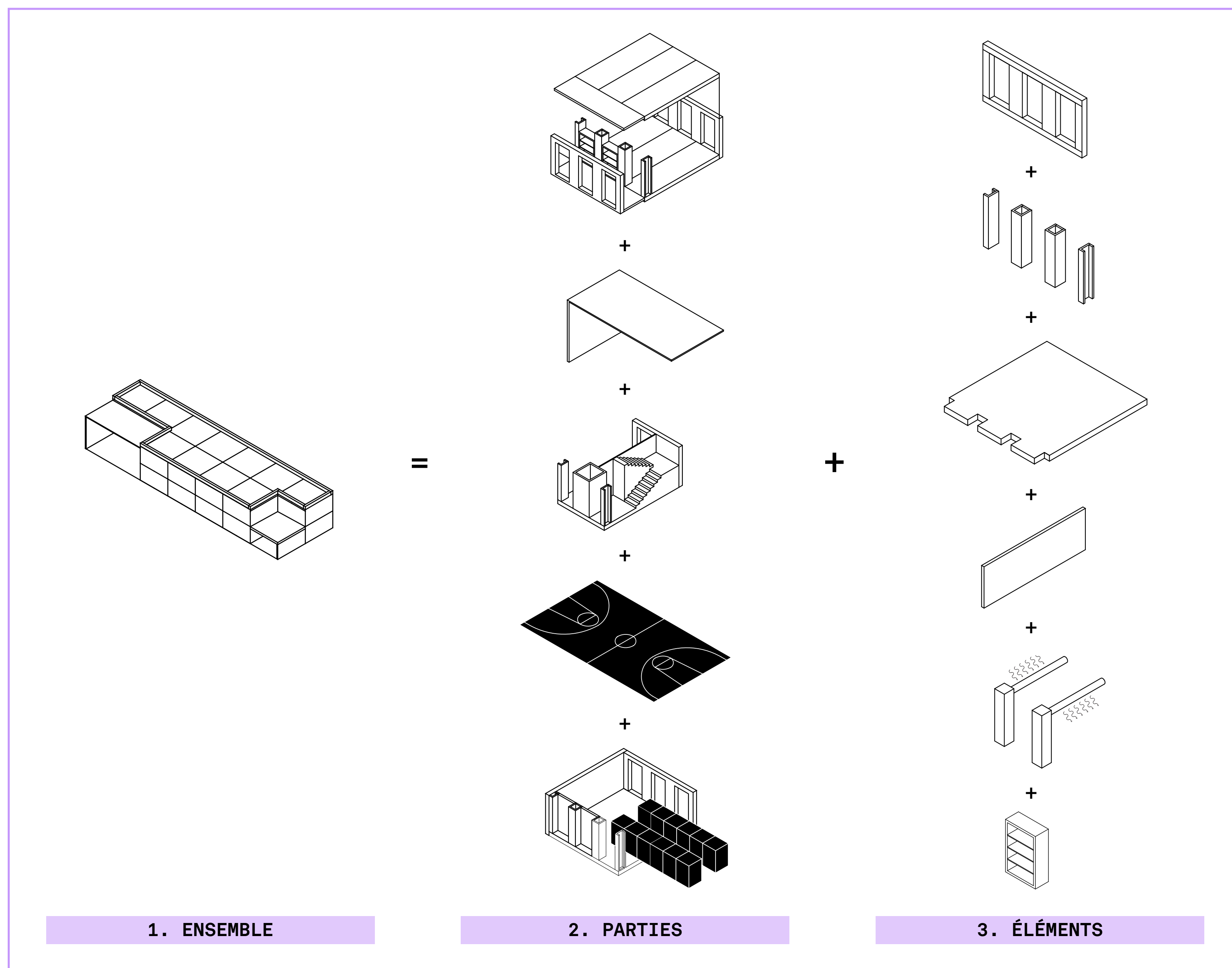
Afin de récapituler les performances et les principes de construction du système MODUL R, trois échelles de travail ont été distinguées dans le cadre de cette recherche. Elles permettent de décomposer les projets d'école depuis leur disposition d'ensemble jusqu'à la fabrication de leurs composants. Ces trois échelles sont :

1. ensemble (échelle de l'école);
2. parties (échelle du module);
3. éléments (échelle du composant).

Le volume II présente les caractéristiques du système MODUL R en décomposant les projets d'école selon ces trois échelles, qui s'imbriquent à la manière de poupées gigognes :

- les ensembles scolaires sont divisés en parties;
- les parties sont divisées en éléments.

Ces trois échelles serviront de fil rouge pour la suite du volume II en déclinant systématiquement les enjeux et les performances attendues à chaque échelle.



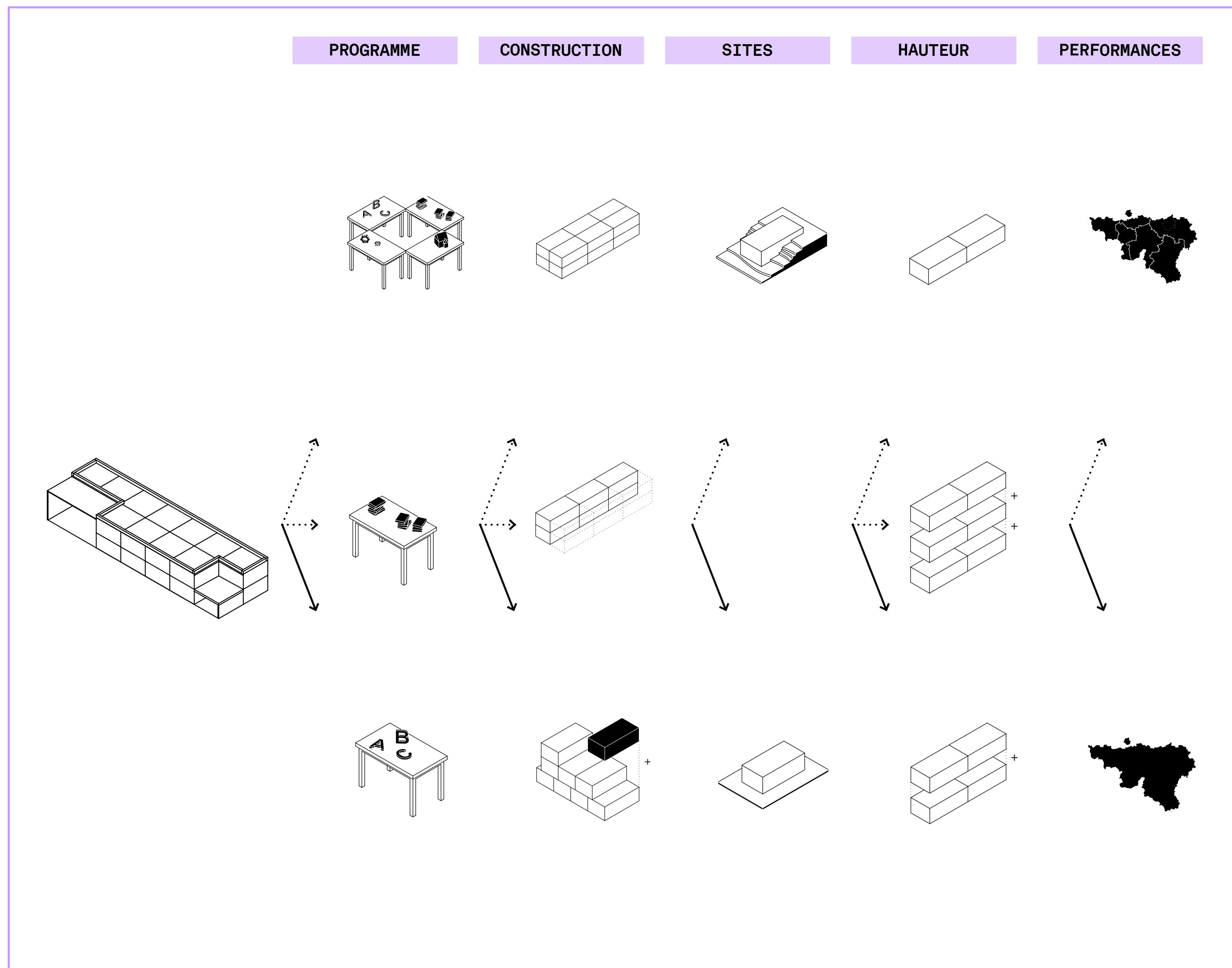
2.2 ÉCHELLE 1 : ENSEMBLE

La première échelle de travail est celle de l'école dans son ensemble, c'est-à-dire celle d'un bâtiment complet. À l'échelle du bâtiment, une série d'enjeux, d'options possibles, de normes contraignantes ou non ont été analysés durant la recherche et ont engendré certains choix techniques et niveaux de performances qui caractérisent le système MODUL R.

Ces choix concernent les éléments suivants :

- la programmation scolaire;
- le type de construction et de production;
- la nature des sites d'implantation;
- la hauteur des édifices;
- le domaine d'applicabilité et les performances visées.

Si ces enjeux sont présentés les uns après les autres, il va de soi qu'ils s'influencent réciproquement.



2.2 ÉCHELLE 1 : ENSEMBLE

A / PROGRAMME

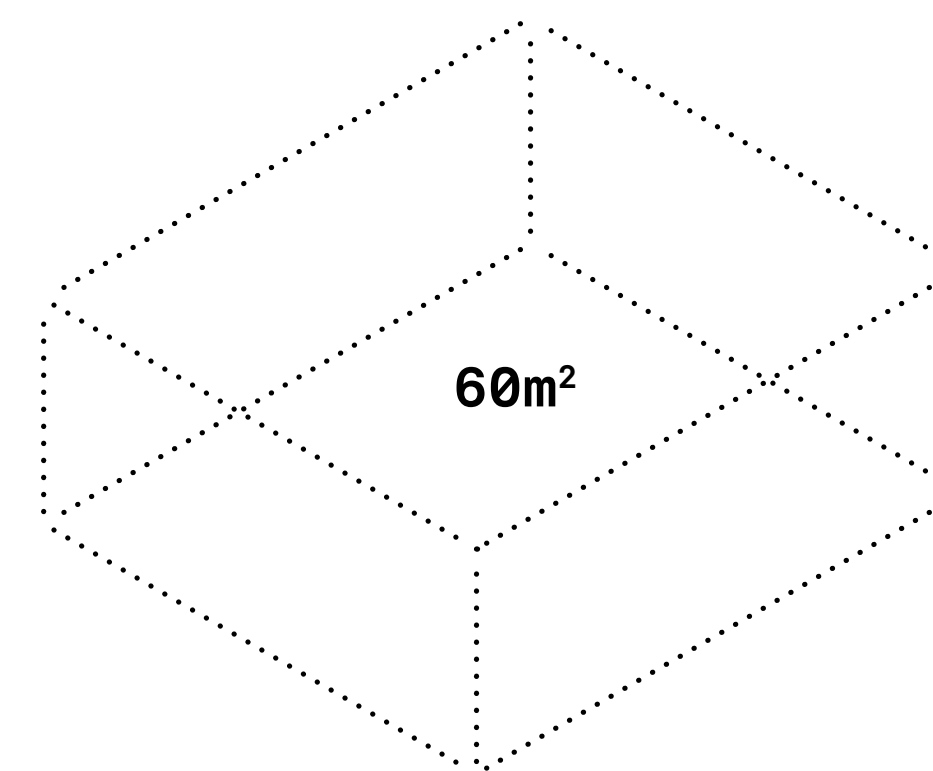
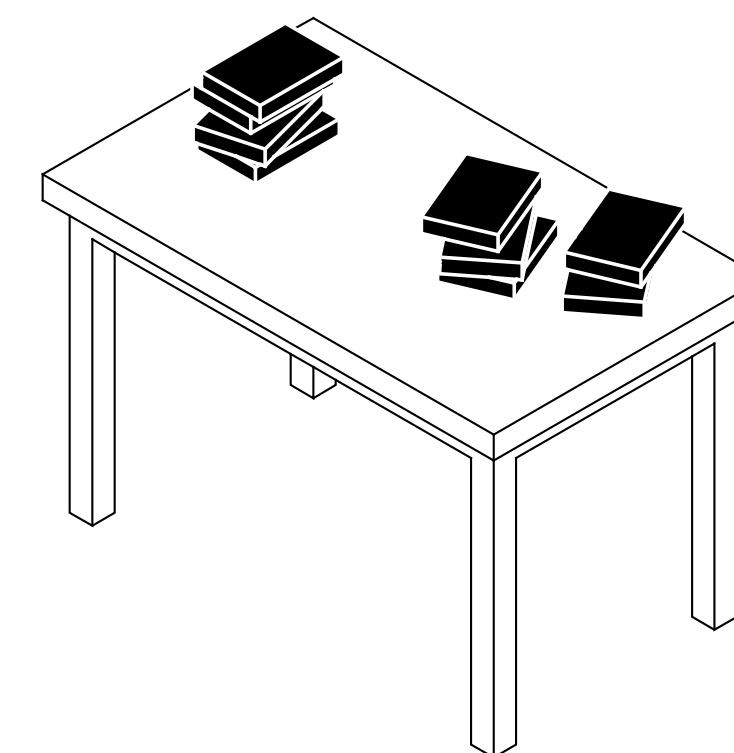
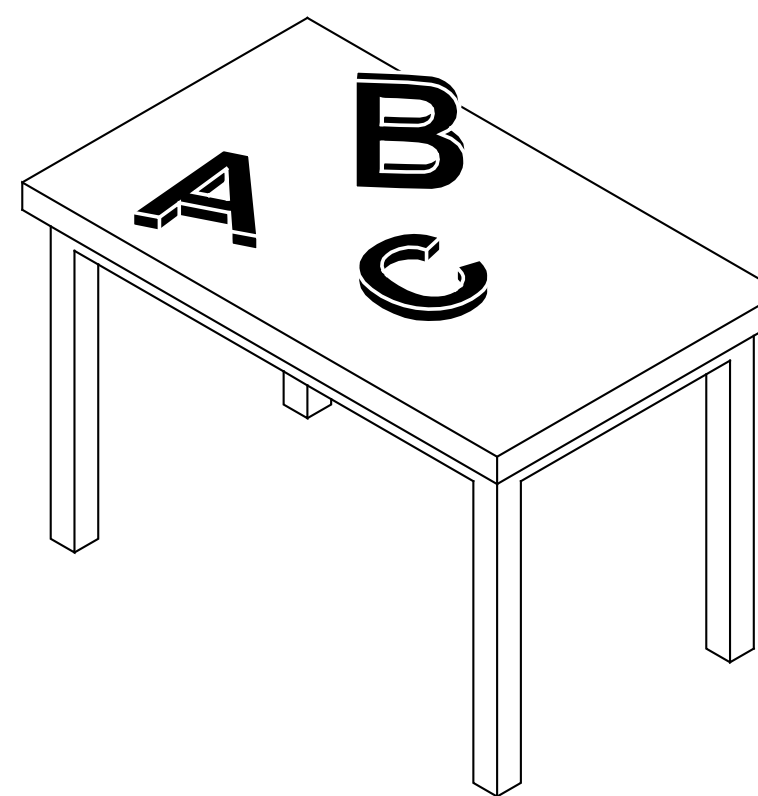
Le système MODUL R a été développé au départ de programmes scolaires :

- de type fondamental (enseignement maternel et primaire);
- de pédagogie classique (ou ordinaire) tel que précisé dans le décret du 3 mai 2012.

Une analyse typologique d'établissements scolaires conçus pour l'enseignement fondamental, couplée à une analyse des derniers cahiers des charges de la FW-B a induit la mise en place de classes de minimum 60 m².

Chaque classe du système MODUL R fait 60 m² et peut accueillir jusqu'à 28 élèves (+1 professeur). Le nombre effectif d'élèves prévu dans une classe doit cependant être adapté selon le niveau d'enseignement, le type d'enseignement concerné (maternel, ordinaire, pédagogie active, etc.).

Le système a en effet été développé pour répondre de manière optimale aux besoins de l'enseignement fondamental (maternel et primaire) ordinaire. Cependant, grâce la souplesse du système, l'utiliser pour d'autres types d'enseignement (spécialisé, secondaire, école de tronc commun, etc.) reste envisageable, moyennant des vérifications et études complémentaires.



2.2 ÉCHELLE 1 : ENSEMBLE

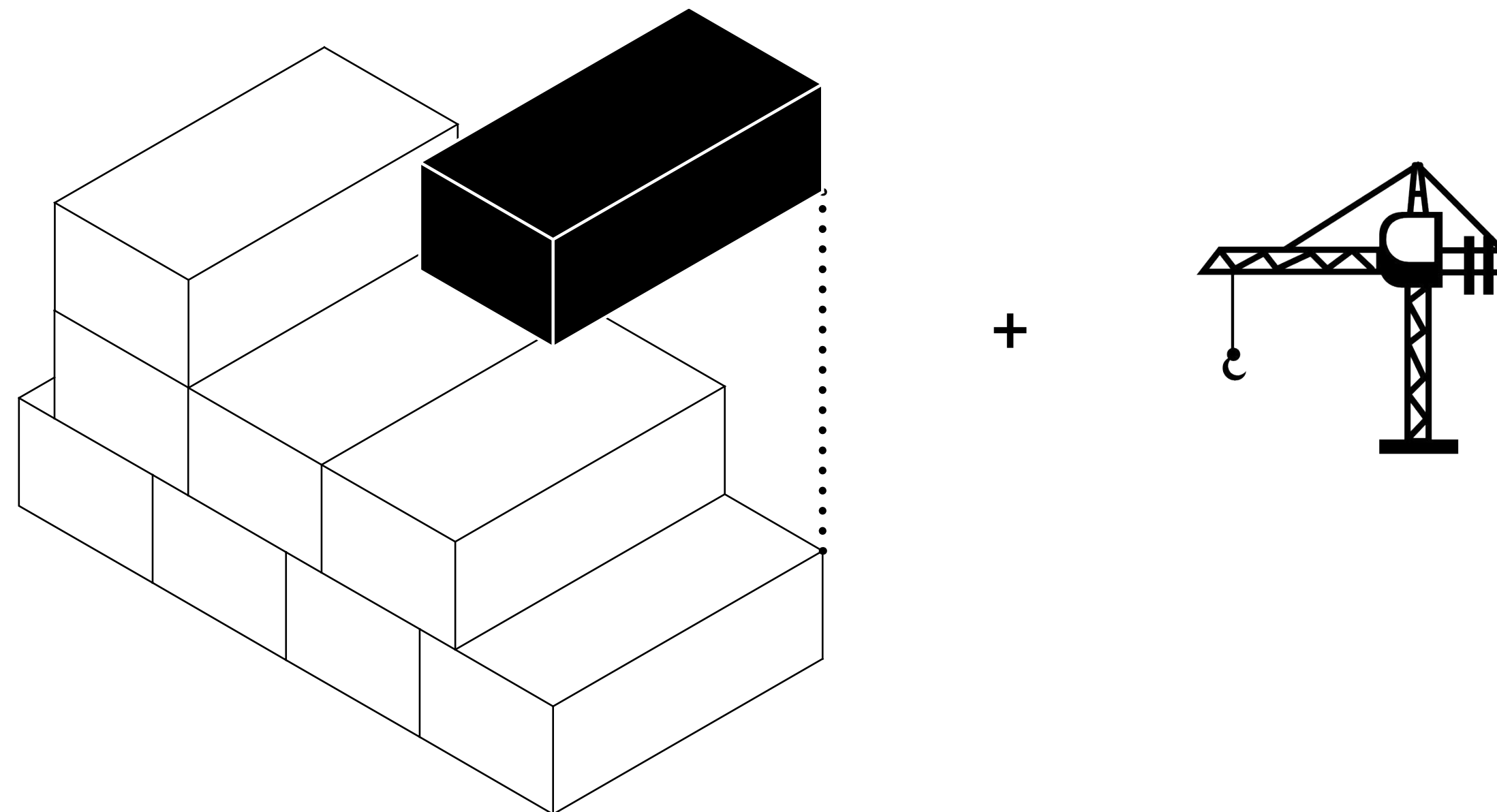
B / PRODUCTION

MODUL R est un système de préfabrication qui vise un optimum entre :

- une programmation répliquable;
- une économie des études architecturales et techniques;
- une facilité de construction des composants en usine;
- une facilité de transport;
- un temps de montage réduit;
- un coût de construction réduit;
- une nécessité et une durée d'installation limitées pour les structures d'accueil provisoires des élèves en cas de démolition-reconstruction d'école.

La préfabrication en atelier permet d'atteindre ces objectifs. MODUL R en intègre les principes fondamentaux, à savoir :

- l'optimisation de la structure, calculée pour répondre à différents types de compositions;
- la répétition des éléments, conditionnée par des impératifs de facilité d'exécution en produisant un maximum en atelier;
- la taille des éléments, dictée par les impératifs de production, la taille des matériaux standards disponibles et les gabarits de transport;
- les assemblages, réduits au minimum pour faciliter le montage sans supports provisoires.



2.2 ÉCHELLE 1 : ENSEMBLE

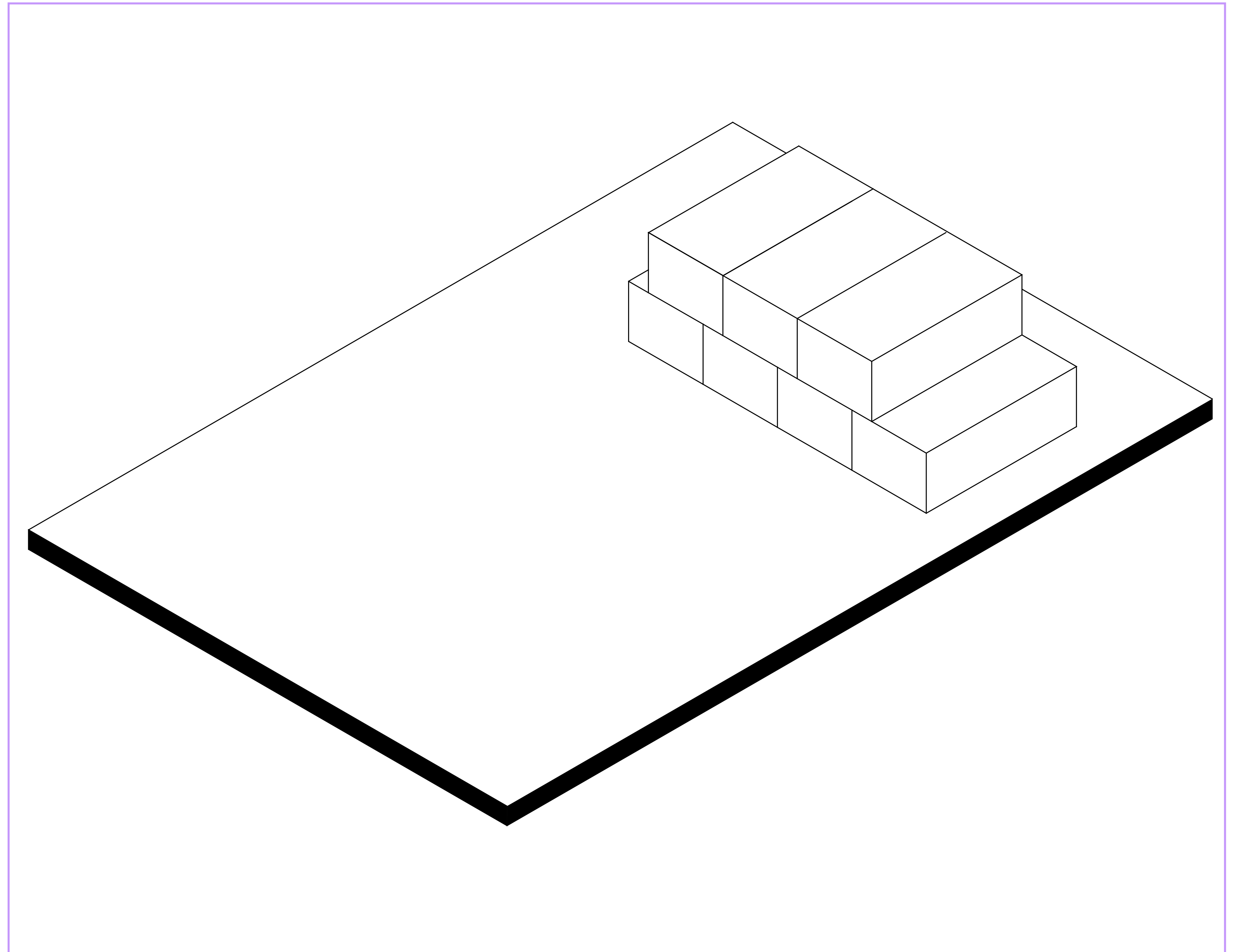
C / SITES

Le domaine d'applicabilité du système MODUL R en termes de sites d'implantation est dicté par des impératifs de transport et de montage aisés des éléments préfabriqués. MODUL R est ainsi adapté aux sites :

- plats;
- relativement généreux en termes de taille;
- sans difficulté majeure d'accès.

La réunion de ces trois critères permet de conserver un aspect générique aux écoles. toute autre configuration demanderait soit un ajustement du système pour fabriquer une assise horizontale, soit des efforts complémentaires en termes de transport et de montage, ce qui aurait une incidence sur le coût global de l'école.

Parmi les sites qui correspondent à ces critères, on retrouve naturellement ceux qui ont accueilli ou accueillent encore aujourd'hui des écoles préfabriquées obsolètes que le système MODUL R permettrait de remplacer à terme.

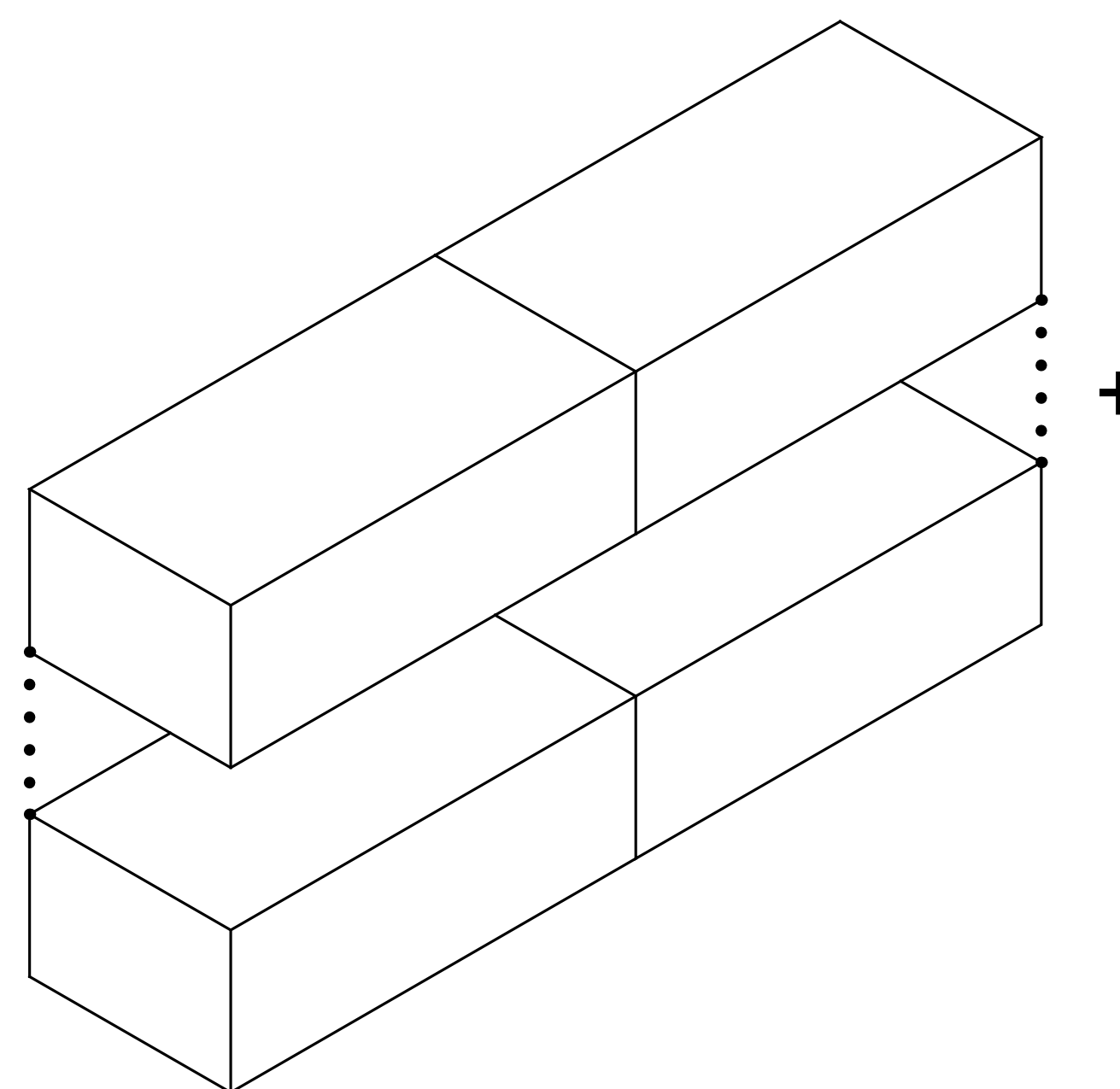


2.2 ÉCHELLE 1: ENSEMBLE

D / HAUTEUR

Dans un souci d'optimisation des moyens structurels, programmatiques et économiques, le système MODULR permet de concevoir des bâtiments de deux niveaux (rez-de-chaussée + 1 étage) maximum. Cette option de travail permet de :

- doubler les surfaces possibles par rapport aux écoles préfabriquées existantes, généralement limitées à un seul niveau de plain-pied comme c'est le cas des RTG, par exemple;
- limiter la complexité des nœuds constructifs et des fondations;
- demeurer dans la catégorie des « bâtiments bas » (hauteur du dernier niveau inférieure à 10m) par rapport aux normes de base de prévention incendie;
- offrir une flexibilité dans la répartition des fonctions d'une école entre rez-de-chaussée et étage : différentes configurations sont possibles, ce qui est un plus vu la liberté d'organisation d'enseignement (cf. volume I). Il sera possible, par exemple, d'équilibrer les fonctions d'une école fondamentale « classique » en disposant :
 - au rez-de-chaussée : l'ensemble des classes maternelles, des espaces administratifs liés à la direction et les salles collectives (réfectoire, salle de psychomotricité),
 - à l'étage : les classes de primaire et les classes spécifiques (informatique, bibliothèque).

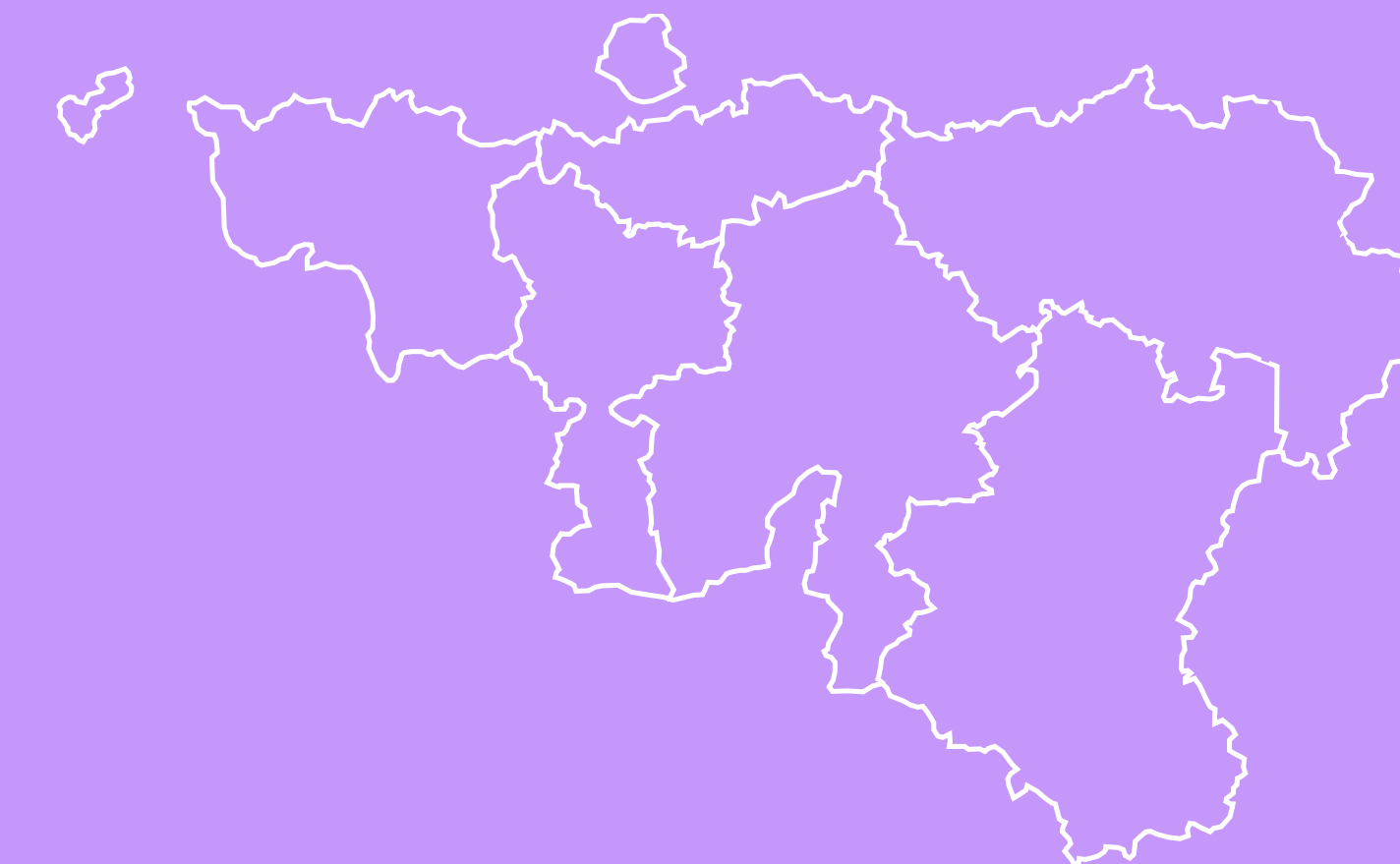


2.2 ÉCHELLE 1: ENSEMBLE

E / PERFORMANCES VISÉES

Afin de rendre le système MODULR généralisable à toute la FW-B, les règles les plus contraignantes ont été prises en compte pour sa mise au point (parfois européennes, fédérales, régionales, ou plus locales, comme les normes sismiques). Ces règles concernent:

- pour l'acoustique: la norme NBN S01-400-2:2012 « Critères acoustiques pour les bâtiments scolaires » et la réglementation environnementale en Régions wallonne et bruxelloise;
- pour la stabilité: les documents d'application nationale relatifs aux Eurocodes 0 et 1 (charges et combinaisons de charges), à l'Eurocode 2 (ouvrages en béton), à l'Eurocode 3 (ouvrages métalliques), à l'Eurocode 5 (construction en bois, ainsi que sa partie 2 relative au calcul au feu), et à l'Eurocode 7 (ouvrages géotechniques);
- pour les normes parasismiques: les prescriptions de l'Eurocode 8;
- pour la prévention incendie: l'arrêté royal du 7 juillet 1994 et la NBN S21-204-2:2020 de protection contre l'incendie dans les bâtiments - Bâtiments scolaires;
- pour les normes thermiques: la réglementation PEB en Régions wallonne et bruxelloise;
- pour l'éclairage naturel: la norme européenne EN 17037 (non contraignante);
- pour la surchauffe: les réglementations régionales, même si elles n'imposent plus de performances en termes de limitation des surchauffes suivant le calcul PEB;
- pour la qualité de l'air: l'arrêté royal du 25 mars 2016 et les normes PEB.



2.2 ÉCHELLE 1 : ENSEMBLE

E / PERFORMANCES VISÉES

I. ACOUSTIQUE

La norme NBN S01-400-2:2012 « Critères acoustiques pour les bâtiments scolaires » précise les enjeux en termes d'acoustique depuis le 1^{er} janvier 2013 pour les constructions ou parties rénovées de bâtiments scolaires.

La norme détermine les performances acoustiques exigées pour un bâtiment scolaire achevé. Ce qui signifie que les mesures y afférentes ne peuvent être réalisées que si toutes les circonstances pertinentes pour la réalisation de la mesure sont réunies.

En termes d'acoustique, les enjeux dans la construction d'un bâtiment scolaire se situent à plusieurs niveaux, où des seuils minimaux d'isolement acoustique sont prescrits par la norme :

- isolation des bruits aériens entre locaux;
- isolation des bruits de choc entre locaux;
- isolation acoustique de la façade contre le bruit extérieur;
- niveau sonore des installations dans les locaux et dans le voisinage;
- absorption sonore dans les locaux (réverbération et correction acoustique).

Le respect des normes acoustiques et la manière d'y parvenir concrètement dans le système MODUL R est explicité au chapitre « échelle 2 : parties acoustique ».

1 ISOLATION AUX BRUITS AÉRIENS

1.d	Symbole et définition:	D _a : l'isolement acoustique standardisé pondéré mesuré <i>in situ</i>
1.m	Norme de mesure:	NBN EN ISO 140-4
1.e	Norme d'évaluation:	NBN EN ISO 717-1 et NBN S01-400-2
1.c	Norme de calcul:	NBN EN ISO 12354-1

VALEUR MINIMALE DE L'ISOLEMENT D_a

LOCAL RÉCEPTION

LOCAL ÉMISSION		LOCAL RÉCEPTION							
		CLASSE PRIMAIRE/SECONDAIRE	CLASSE MATERNELLE	RÉFECTOIRE	SALLE DE SPORT	BUREAU, SALLE DE RÉUNION, SALLE DES PROFESSEURS	CIRCULATION, COULOIR	SANITAIRE	SALLE POLYVALENTE
1.1	Classe primaire/secondaire Classe maternelle	44		(1)	(1)	40	(1)	(1)	44 (2)
1.3	Réfectoire	48 ⁽³⁾		-	44 ⁽³⁾	44	(1)	(1)	48 ⁽³⁾
1.4	Salle de sport	56		32	-	52	-	32	56
1.5	Bureau, salle de réunion...	44		44 ⁽⁴⁾	44 ⁽⁴⁾	40	32 ⁽⁴⁾	44 ⁽⁴⁾	44 ⁽⁴⁾
1.6	Circulation, couloir	32		-	-	(1)	-	-	32
1.7	Sanitaire	48		32	32	44	-	-	48
1.8	Salle polyvalente	44 ⁽²⁾		(1)	(1)	40	(1)	(1)	44

2 ISOLATION AUX BRUITS DE CHOC

2.d	Symbole et définition:	L _i : niveau de pression acoustique du bruit de choc standardisé pondéré
2.m	Norme de mesure:	NBN EN ISO 140-7
2.e	Norme d'évaluation:	NBN EN ISO 717-2 et NBN S01-400-2
2.c	Norme de calcul:	NBN EN ISO 12354-2

VALEUR MAXIMALE DU BRUIT DE CHOC L_i

LOCAL RÉCEPTION

LOCAL ÉMISSION		LOCAL RÉCEPTION							
		CLASSE PRIMAIRE/SECONDAIRE	CLASSE MATERNELLE	RÉFECTOIRE	SALLE DE SPORT	BUREAU, SALLE DE RÉUNION, SALLE DES PROFESSEURS	CIRCULATION, COULOIR	SANITAIRE	SALLE POLYVALENTE
2.1	Classe primaire/secondaire Classe maternelle	60		(1)	65	60	(1)	(1)	60 (2)
2.3	Réfectoire	50 ⁽³⁾		-	55 ⁽³⁾	55	-	-	50 ⁽³⁾
2.4	Salle de sport	45 ⁽²⁾		65	-	55	65	65	45 ⁽²⁾
2.5	Bureau, salle de réunion...	60		-	60	60	-	-	60
2.6	Circulation, couloir	65		-	-	65	-	-	65
2.7	Sanitaire	60		-	65	60	-	-	60
2.8	Salle polyvalente	60		(1)	65	60	(1)	(1)	60

3 ISOLATION DE LA FAÇADE

3.d	Symbole et définition:	D _{atr} : l'isolement acoustique standardisé pondéré du pan de façade
3.m	Norme de mesure:	NBN EN ISO 140-5
3.e	Norme d'évaluation:	NBN EN ISO 717-2 et NBN S01-400-2
3.c	Norme de calcul:	NBN EN ISO 12354-3

LOCAL

LOCAL	VALEUR MINIMALE DE L'ISOLEMENT D _{atr}	
3.1	Classe primaire/secondaire Classe maternelle	≥ L _A - 35 + m et ≥ 26 dB
3.3	Réfectoire	≥ L _A - 45 + m et ≥ 26 dB
3.4	Salle de sport	≥ L _A - 40 + m et ≥ 26 dB
3.5	Bureau, salle de réunion...	≥ L _A - 40 + m et ≥ 26 dB
3.6	Circulation, couloir	≥ L _A - 45 + m et ≥ 26 dB
3.7	Sanitaire	-
3.8	Salle polyvalente	≥ L _A - 35 + m et ≥ 26 dB

4 BRUIT DES ÉQUIPEMENTS DE SERVICE

4.d	Symbole et définition:	L _{Aeq,nT,stat} : niveau de pression acoustique standardisé de toutes les sources de bruit d'équipements de services stationnaires
4.m	Norme de mesure:	NBN EN ISO 16032
4.e	Norme d'évaluation:	NBN EN ISO 16032 et NBN S01-400-2
4.c	Norme de calcul:	NBN EN ISO 12354-5

LOCAL

LOCAL	VALEUR MAXIMALE DU BRUIT L _{Aeq,nT,stat}	
4.1	Classe primaire/secondaire Classe maternelle	35 dB
4.3	Réfectoire	45 dB
4.4	Salle de sport	40 dB
4.5	Bureau, salle de réunion...	40 dB
4.6	Circulation, couloir	45 dB
4.7	Sanitaire	65 dB
4.8	Salle polyvalente	35 dB

5 TEMPS DE RÉVERBÉRATION

5.d	Symbole et définition:	T _{nom} : temps de réverbération nominal dans le local
5.m	Norme de mesure:	NBN EN ISO 3382
5.e	Norme d'évaluation:	NBN S01-400-2
5.c	Norme de calcul:	NBN EN ISO 12354-6

LOCAL

LOCAL	VALEUR MAXIMALE DU TEMPS DE RÉVERBÉRATION T _{nom}	
5.1	Classe primaire/secondaire	0.81 s
5.2	Classe maternelle	0.6 s
5.3	Réfectoire	1 s
5.4	Salle de sport	log ₁₀ (Volume/50)
5.5	Bureau, salle de réunion...	1 s
5.6	Circulation, couloir	1 s
5.7	Sanitaire	1.5 s
5.8	Salle polyvalente	1 s

2.2 ÉCHELLE 1 : ENSEMBLE

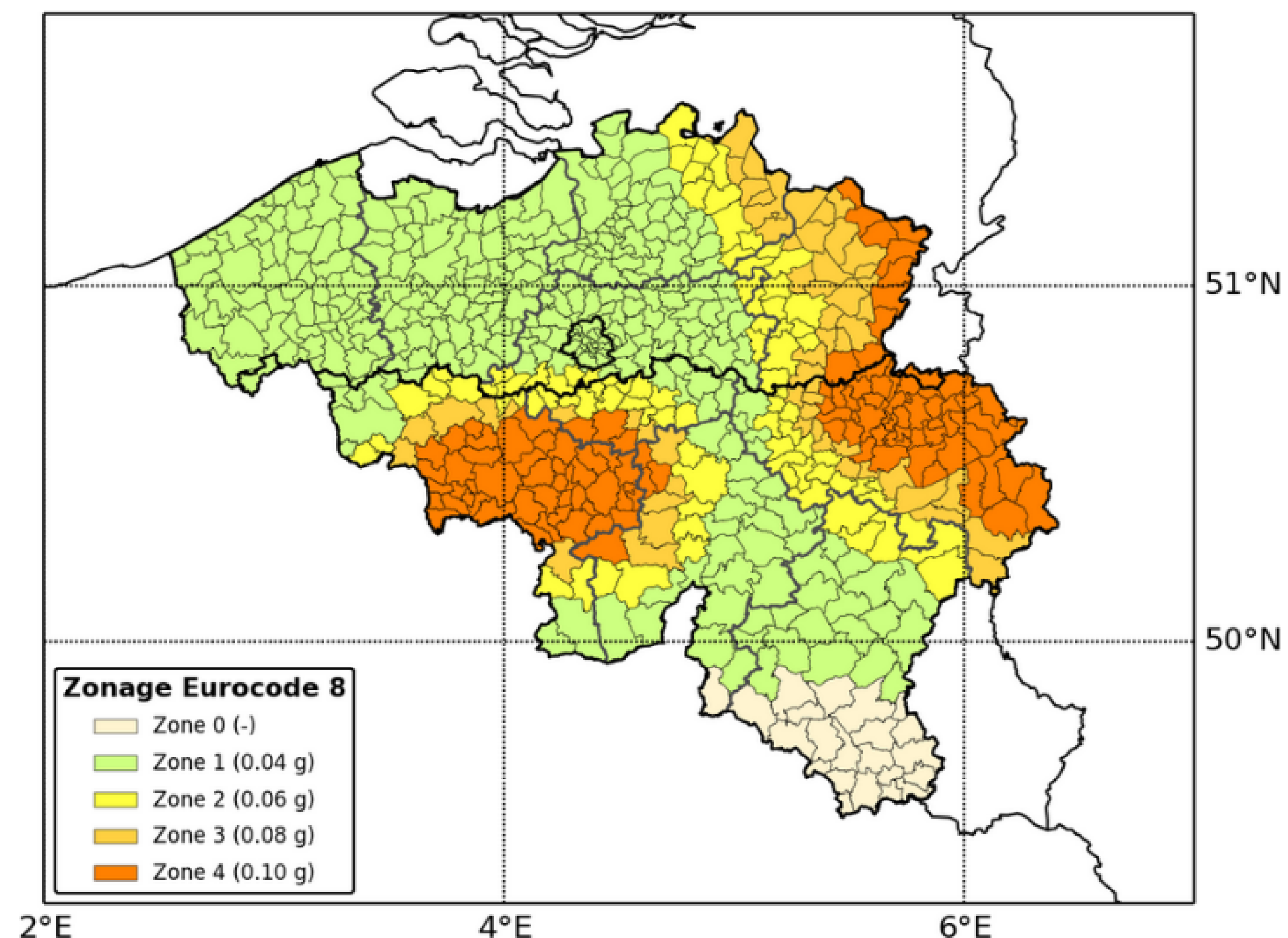
E / PERFORMANCES VISÉES

II. SISMIQUE

La Belgique présente deux zones où le risque sismique est non négligeable (Hainaut et Liège). Ce sont ces zones les plus défavorables en termes de risque qui ont été prises en compte pour la mise en place du système MODUL R.

La norme européenne qui décrit les règles de construction parasismique, l'Eurocode 8, n'est pas d'application obligatoire en Belgique. Cela dit, d'après les experts en droit de la construction, il est aujourd'hui admis que les professionnels de la construction ont une connaissance de l'Eurocode 8. Donc, si le concepteur ne l'applique pas, on suppose qu'il le fait volontairement. Construire un bâtiment sans appliquer cette norme est « autorisé » mais le professionnel sera juridiquement responsable en cas de grave séisme.

Pour des raisons évidentes de sécurité et afin de garantir les meilleures performances, le système MODUL R répond aux normes parasismiques, c'est-à-dire que le dimensionnement et la conception du bâtiment répondent aux prescriptions de l'Eurocode 8.



Zonage du territoire belge suivant l'annexe nationale belge à l'Eurocode 8 (NBN EN 1998-1).

2.2 ÉCHELLE 1 : ENSEMBLE

E / PERFORMANCES VISÉES

III. PRÉVENTION INCENDIE

Deux enjeux majeurs de prévention incendie sont rencontrés par le système MODULR:

- la résistance au feu: ce problème est résolu par un dimensionnement des éléments structurels selon l'Eurocode EN1995-1-2. L'ensemble de la structure étant apparente, celle-ci doit donc être résistante au feu:
 - REI 30 min. pour la toiture,
 - REI 60 min. pour les autres planchers, les murs et les gaines techniques;
- la réaction au feu: pour un bâtiment de type 3 (école fondamentale ordinaire), et des bâtiments bas (système MODULR), les classes de réaction au feu sont reprises dans les tableaux ci-contre.

Dans le système MODULR, le comportement du bois apparent rencontre bien les exigences listées par les normes. Néanmoins, des mesures complémentaires peuvent être envisagées par le maître de l'ouvrage, comme:

- la création de sous-compartiments aux étages;
- des mains courantes à hauteur d'enfant pour augmenter la vitesse d'évacuation dans les escaliers et réduire le risque de chute;
- une utilisation quotidienne de tous les escaliers pour une évacuation plus rapide;
- un rassemblement et un comptage des enfants avant de sortir de la classe afin de garantir que tous les enfants soient évacués.

TABLEAU II: LOCAUX

TYPE		1			2 ET 3		
		B.E.	B.M.	B.B.	B.E.	B.M.	B.B.
SALLES	Parois verticales	B-s1, d2	B-s1, d2	B-s1, d2	C-s2, d2	C-s2, d2	C-s2, d2
	Plafonds et faux plafonds	B-s1, d0	B-s1, d0	B-s1, d0	C-s2, d0	C-s2, d0	C-s2, d0
	Sols	B _{FI} -s1	B _{FI} -s1	B _{FI} -s1	C _{FI} -s2	C _{FI} -s2	C _{FI} -s2
TOUS LES AUTRES LOCAUX	Parois verticales	C-s2, d2	C-s2, d2	C-s2, d2	D-s3, d2	E-d2	E-d2
	Plafonds et faux plafonds	C-s2, d1	C-s2, d1	C-s2, d1	D-s3, d1**	E**	E**
	Sols	C _{FI} -s1	C _{FI} -s1	C _{FI} -s1	D _{FI} -s2	E _{FI}	E _{FI}

B.E. bâtiments élevés
 B.M. bâtiments moyens
 B.B. bâtiments bas
 **d2 dans locaux ≤ 30 m²

TABLEAU IV: EXIGENCES EN MATIÈRE DE RÉACTION AU FEU DANS LES CHEMINS D'ÉVACUATION ET CAGES D'ESCALIER, AVEC DÉTECTION INCENDIE

TYPE	B.E.		B.M.			B.M.			
	1	2 ET 3	2	3		2		3	
				HOR.	VERT.	HOR.	VERT.	HOR.	VERT.
Parois verticales	B-s1, d2	B-s1, d2	C-s1, d2	C-s2, d2	C-s2, d2	D-s2, d2	C-s1, d2	D-s3, d2	D-s3, d2
Plafonds et faux plafonds	B-s1, d0	B-s1, d0	B-s1, d0	C-s2, d0	C-s2, d0	D-s2, d0	C-s1, d0	D-s3, d0	D-s3, d0
Sols	B _{FI} -s1	B _{FI} -s1	C _{FI} -s1	C _{FI} -s1	C _{FI} -s1	D _{FI} -s1	C _{FI} -s1	D _{FI} -s2	D _{FI} -s2

B.E. bâtiments élevés
 B.M. bâtiments moyens
 B.B. bâtiments bas
 Hor. les chemins d'évacuation qui ne sont pas au niveau d'évacuation
 Vert. cages d'escalier (y compris les sas, les paliers et les escaliers) et le chemin d'évacuation au niveau d'évacuation, à partir des cages d'escalier jusqu'à l'extérieur du bâtiment.

Exigences en matière de réaction au feu selon l'arrêté royal 7 juillet 1994 fixant les normes de base en matière de prévention contre l'incendie..

2.2 ÉCHELLE 1 : ENSEMBLE

E / PERFORMANCES VISÉES

IV. THERMIQUE

La FW-B recouvre deux régions en Belgique :

- la Région de Bruxelles-Capitale;
- la Région wallonne.

Actuellement, les réglementations régionales imposent des performances énergétiques distinctes suivant le calcul PEB, qui concernent :

- la performance énergétique minimale des parois;
- l'isolation thermique (valeur K);
- le niveau de consommation d'énergie primaire (indice E_w ou E);
- la consommation en énergie primaire.

Les réglementations régionales s'appliquent sur les bâtiments dans leur ensemble, intégrant la volumétrie et l'orientation. Le système MODUL R permet de répondre aux normes des deux régions, et cela, quelles que soient les configurations du bâtiment. Pour répondre à des normes différentes entre régions et potentiellement évolutives sans remise en cause de la géométrie et des solutions structurelles et techniques développées, le système MODUL R met en œuvre :

- des parois présentant une très bonne résistance thermique;
- des châssis dont les performances dépendent du niveau d'exigence thermique (à ce stade, trois types de coefficient de transmission thermique des châssis ont été imaginés: $1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$; $0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ et $0.6 \text{ W/m}^2\text{K}$).

À titre d'exemple, le projet-pilote de l'Athénée royal de La Louvière répond aux exigences Q-ZEN (K35 et E_w45).

EXIGENCES PEB	BRUXELLES-CAPITALE	WALLONIE
CEP [$\text{kWh/m}^2\cdot\text{an}$] cons. en énergie primaire	$0,6 \cdot E_{\text{spec ann prim en cons, ref}}$	
Niveau K		≤ 35
E_w (indicateur permettant d'évaluer la conso en énergie primaire)		≤ 65
Nœuds constructifs	à comptabiliser	à comptabiliser
$U_{\text{max}}/R_{\text{min}}$	pour toutes les parois	pour toutes les parois
<i>Toitures et plafonds</i>	$U_{\text{max}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{\text{max}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$
<i>Murs</i>	$U_{\text{max}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{\text{max}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$
<i>Planchers</i>	$U_{\text{max}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{\text{max}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$
<i>Portes et portes de garage</i>	$U_{\text{max}} = 2 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{\text{max}} = 2 \text{ W/m}^2\text{K}$
<i>Fenêtres - ensemble châssis et vitrage</i>	$U_{\text{wmax}} = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{\text{wmax}} = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$
<i>Fenêtres - vitrage uniquement</i>	$U_{\text{gmax}} = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{\text{gmax}} = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$
<i>Murs-rideaux - ensemble châssis et vitrage</i>	$U_{\text{wmax}} = 2 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{\text{wmax}} = 2 \text{ W/m}^2\text{K}$
<i>Murs-rideaux - vitrage uniquement</i>	$U_{\text{gmax}} = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{\text{gmax}} = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$
<i>Briques de verre</i>		$U_{\text{max}} = 2 \text{ W/m}^2\text{K}$
<i>Paroi entre deux volumes protégés situés sur des parcelles adjacentes</i>	$U_{\text{max}} = 1 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{\text{max}} = 1 \text{ W/m}^2\text{K}$
<i>Paroi opaque à l'intérieur du volume protégé ou adjacente à un volume protégé sur la même parcelle</i>	$U_{\text{max}} = 1 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{\text{max}} = 1 \text{ W/m}^2\text{K}$
Installations techniques	- réglementation PEB chauffage - comptage sur capteurs solaires thermiques - comptage de la consommation	- comptage entre bâtiment - comptage entre unités PEB

2.2 ÉCHELLE 1 : ENSEMBLE

E / PERFORMANCES VISÉES

V. ÉCLAIRAGE NATUREL

La norme européenne EN 17037 (non contraignante) spécifie les valeurs d'éclairement des surfaces de travail. La norme définit trois niveaux d'éclairement (minimum, moyen, haut), auxquels correspondent des seuils pour :

- l'éclairement médian (pour min. 50% de l'espace);
- l'éclairement minimum (pour la totalité de l'espace).

La performance de l'éclairage naturel est influencée par :

- la couleur des parois (idéalement la plus claire possible). Pour ces raisons, le système MODULR combine du bois clair, des cloisons secondaires et des plafonds blancs;
- la limitation des zones d'affichage (éviter l'affichage sur les vitrages) pour permettre à la lumière de pénétrer dans les locaux;
- les caractéristiques du vitrage (facteur de transmission lumineuse important, performance thermique élevée et facteur solaire faible).

À l'échelle du module de classe, un optimum a été déterminé pour maximiser l'éclairage naturel tout en limitant la surchauffe ou les pertes thermiques, et s'accommodant d'enjeux comme la sécurité incendie, la ventilation naturelle, l'esthétique des façades et le coût. Enfin, l'éclairage naturel est complété par un éclairage artificiel performant en cas de nécessité.

GRADE	TARGET ILLUMINANCE	FRACTION OF SPACE	MINIMUM ILLUMINANCE	FRACTION OF SPACE
MINIMUM	300 lx	50%	100 lx	100%
MEDIUM	500 lx	50%	300 lx	100%
HIGH	750 lx	50%	500 lx	100%

2.2 ÉCHELLE 1 : ENSEMBLE

E / PERFORMANCES VISÉES

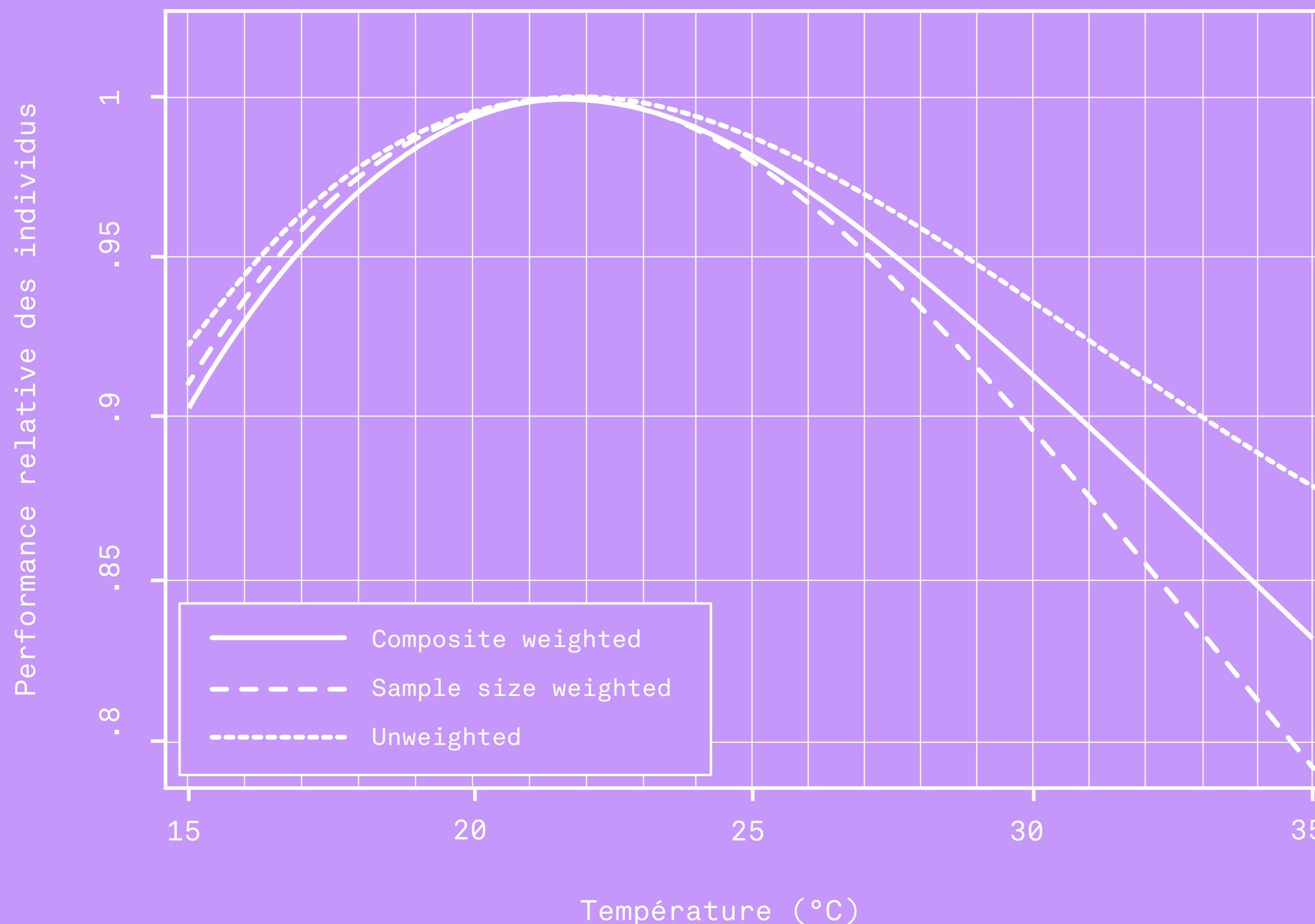
VI. SURCHAUFFE

Actuellement, les réglementations régionales n'imposent plus de performances en termes de limitation des surchauffes suivant le calcul PEB. Pourtant, l'impact de la température sur la performance des individus est démontré: la température optimale pour un travail intellectuel est proche de 21°C et les performances diminuent fortement quand la température dépasse 25°C (Seppänen O., Fisk W. J., lei Q. H. room temperature and productivity in office work. Proceedings of Healthy Buildings Congress 2006. Vol. 1. P. 243-247). Pour le travail scolaire d'enfants de 10-12 ans, l'impact des températures élevées est plus important encore. Entre 25°C et 20°C, une réduction de 1°C de la température permet d'améliorer le travail littéraire et mathématique de 2% à 4%. Ces chiffres montrent une variation potentielle de 20% des performances entre 25°C et 20°C (Pawel Wargocki, David P. Wyon. Providing better thermal and air quality conditions in school classrooms would be cost-effective, Building and Environment January 2013 Volume 59 Pages 581-589).

Pour répondre à cette problématique, le système MODULR a été ajusté à partir de simulations dynamiques afin de s'approcher des objectifs suivants:

- une température intérieure des classes > 25°C: < 5% du temps d'occupation;
- une température intérieure des classes > 22°C: < 25% du temps d'occupation.

Si le premier critère est communément utilisé (par exemple, pour le standard passif), le second critère a été fixé dans le cadre de cette recherche.



Évolution des performances en fonction de la température du local: étude menée sur la performance de travailleurs adultes dans des bureaux (Seppänen O., Fisk W. J., lei Q. H. room temperature and productivity in office work. Proceedings of Healthy Buildings Congress 2006. Vol. 1. P. 243-247).

2.2 ÉCHELLE 1 : ENSEMBLE

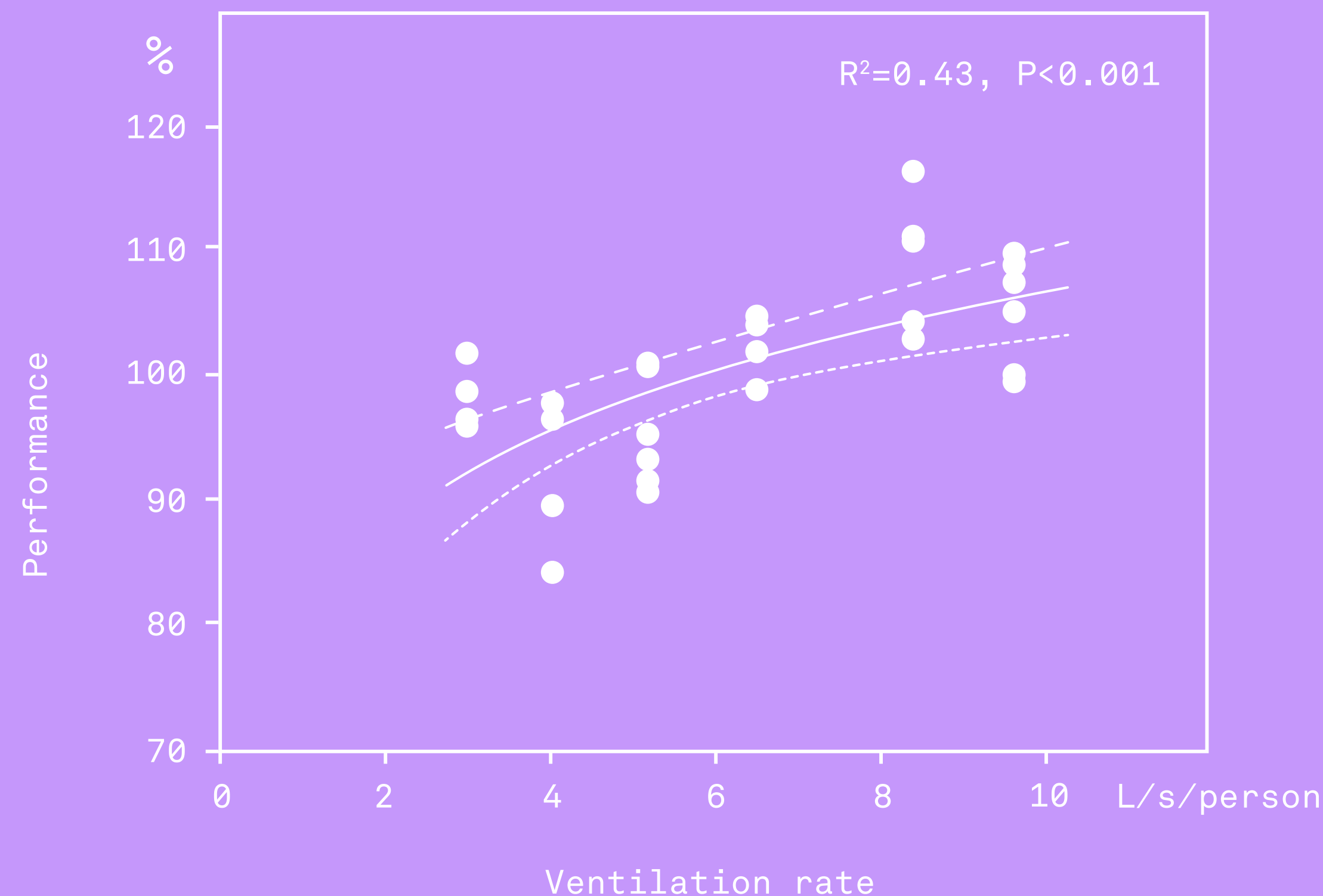
E / PERFORMANCES VISÉES

VII. QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR ET VENTILATION

Depuis l'arrêté royal du 25 mars 2016, le règlement de protection des travailleurs (RGPT) et le Code sur le bien-être au travail (CBE) imposent des critères de renouvellement de l'air pour tous les travailleurs. Les professeurs en faisant partie, ces réglementations s'appliquent au cadre scolaire.

Par ailleurs, il est démontré que l'augmentation du taux de renouvellement d'air de 10 à 30 m³/h.pers augmente la vitesse de réalisation de tâches liées aux nombres et au langage chez les enfants de 0-12 ans. Passer de 18 m³/h.pers à 36 m³/h.pers permet d'augmenter les performances d'environ 14.5%. Malgré la réticence de certaines maîtrises d'ouvrage au vu des débits engagés et de l'impact sur la technologie intégrée, le bien-fondé de la norme semble donc avéré dans le cadre d'une école.

Pour répondre à cela, le système MODUL R veille à ce que la concentration de CO₂ dans les locaux soit inférieure à 800 ppm en assurant un débit de ventilation de 45 m³/h.pers (considérant que l'air extérieur est à 400 ppm). Il implique un système de ventilation mécanique conséquent équipé d'un échangeur de chaleur performant pour limiter les déperditions thermiques par ventilation. Afin d'en assurer une efficacité optimale, une attention particulière a été attachée à l'étanchéité à l'air du système MODUL R.



Relation entre le taux de ventilation (1l/s=3.6m³/h) et la performance des élèves, évaluée sur des tests de langue et de mathématique. Graphe issu d'une présentation de Géo Clausen (Geo Clausen, Indoor air policy for schools and day-care centres, presentation as keynote speaker at the CLIMA 2016 conference, Aalborg, Denmark.).

2.2 ÉCHELLE 1 : ENSEMBLE

E / PERFORMANCES VISÉES

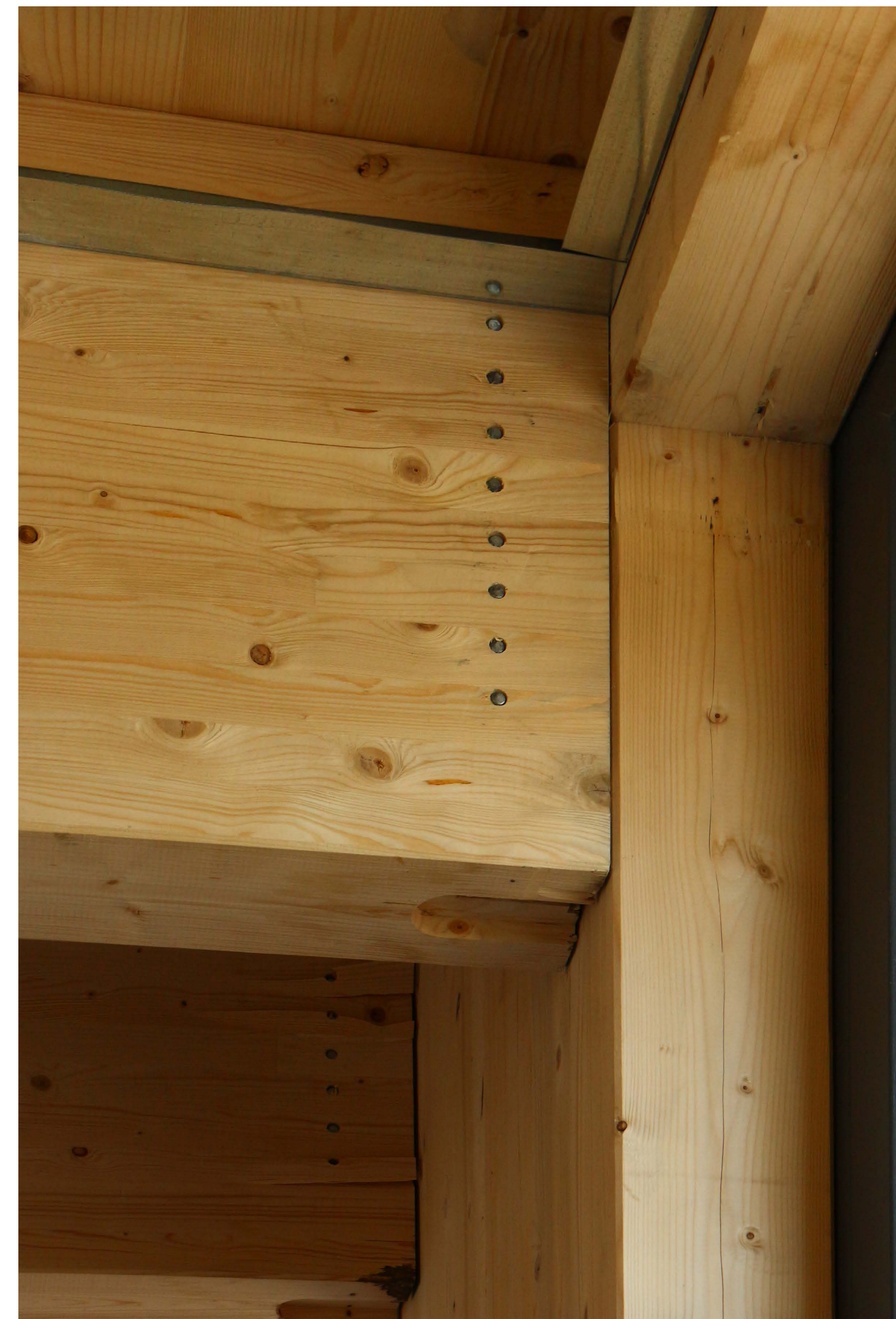
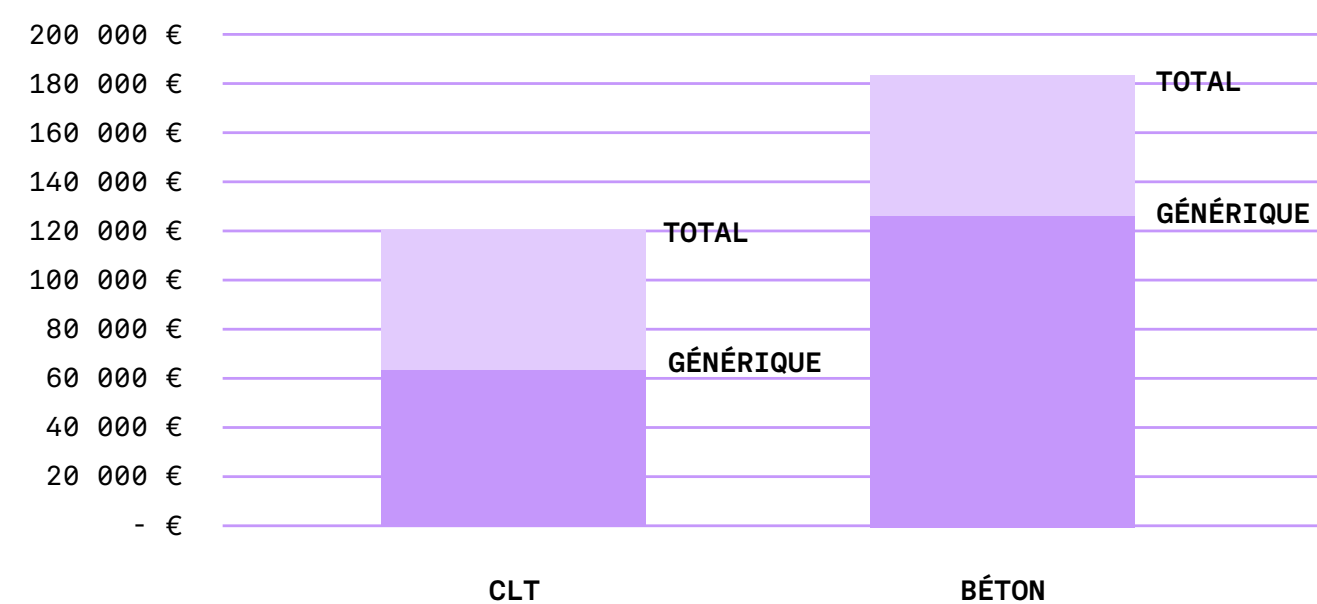
VIII. IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX, DURÉE DE VIE ET CIRCULARITÉ

Suivant les analyses de cycle de vie réalisées avec TOTEM, les impacts environnementaux de la solution MODULR sont 34% plus faibles que ceux d'un projet similaire dont la structure serait en béton.

À cet avantage s'ajoute, pour MODULR, celui du stockage de carbone biogénique, qui n'était pas considéré dans l'outil TOTEM au moment de l'étude. MODULR vise une pérennité dans le temps grâce à :

- des possibilités de modifications fonctionnelles. Le caractère modulaire du système aux niveaux spatial, structurel et technique permet la création d'une grande diversité d'espaces;
- des possibilités d'extension. L'essence même du système est liée à la variété des compositions envisageables et leurs possibles extensions;
- la limitation du nombre de matériaux, permettant des remplacements plus aisés si nécessaire;
- la durée de vie des matériaux choisis pour le système.

ÉVALUATION AVEC L'OUTIL TOTEM:
IMPACTS LIÉS AUX MATÉRIAUX POUR TOUTES LES ÉTAPES
DU CYCLE DE VIE - TOTAL MONÉTARISÉ



*Ce projet bruxellois a pour objectif de démontrer que les matières en fin de vie sont des ressources qui peuvent être réintroduites dans un processus cyclique. <https://www.bbsm.brussels/fr/accueil/>

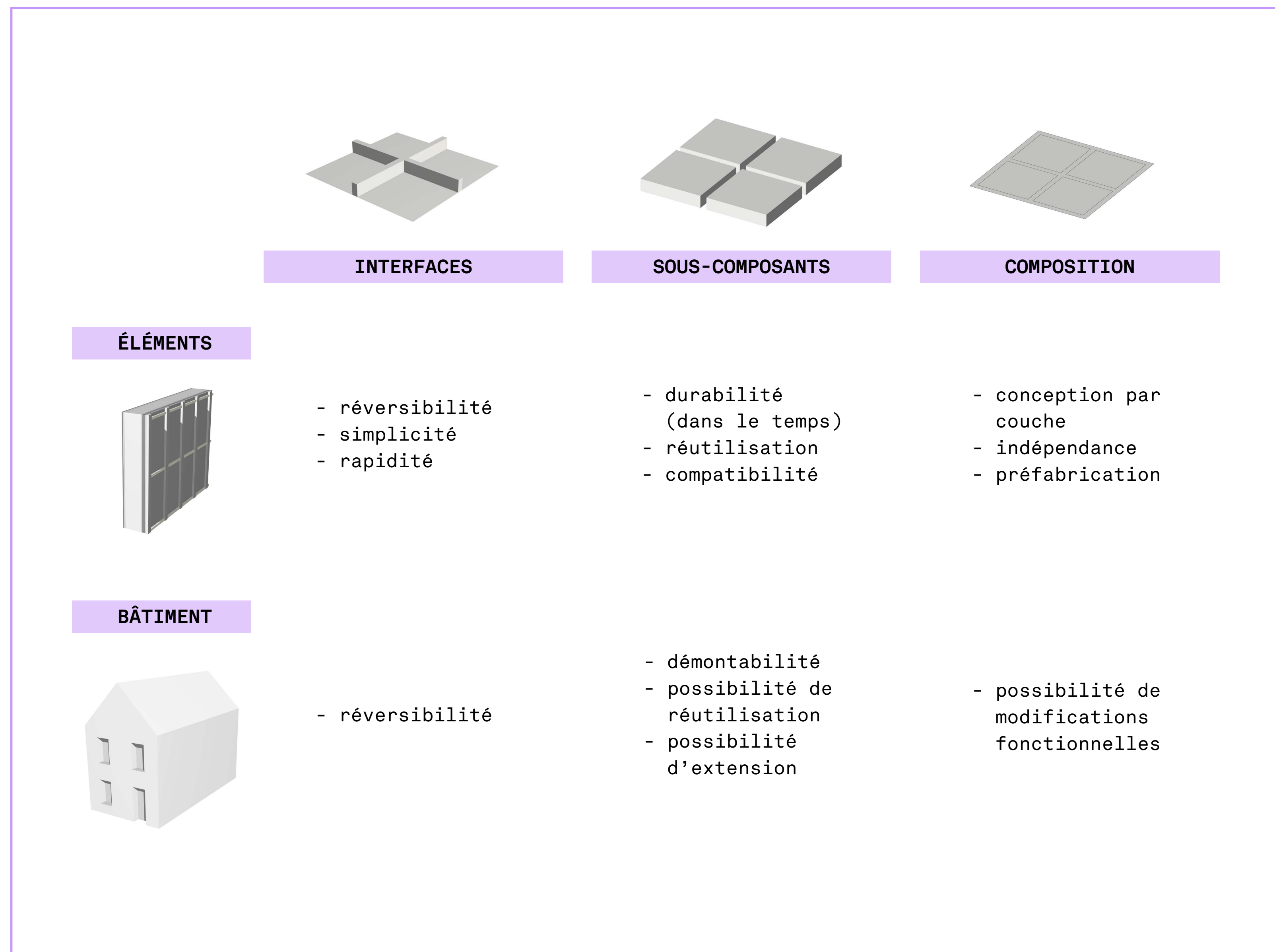
2.2 ÉCHELLE 1 : ENSEMBLE

E / PERFORMANCES VISÉES

VIII. IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX, DURÉE DE VIE ET CIRCULARITÉ

En termes d'économie circulaire, le système MODUL R intègre une série de stratégies mises en lumière par le projet « Bâti bruxellois source de nouveaux matériaux » (BBSM)* en utilisant :

- des matériaux faits de sous-produits et de déchets (p. ex., isolant en fibre de bois);
- des matériaux produits en permanence par une sylviculture responsable (p. ex., bois biosourcé et labellisé FSC ou PEFC);
- des composants qui ne nuisent pas à l'environnement ni aux humains lors de leur utilisation;
- des matériaux qui résistent à l'usure, comme le cross-laminated timber (CLT);
- des solutions simples par la répétition de modules identiques et le maintien des structures et de certains assemblages apparents;
- des composants qui demeurent accessibles et récupérables sans trop d'efforts.



*Ce projet bruxellois a pour objectif de démontrer que les matières en fin de vie sont des ressources qui peuvent être réintroduites dans un processus cyclique.
<https://www.bbsm.brussels/fr/accueil/>

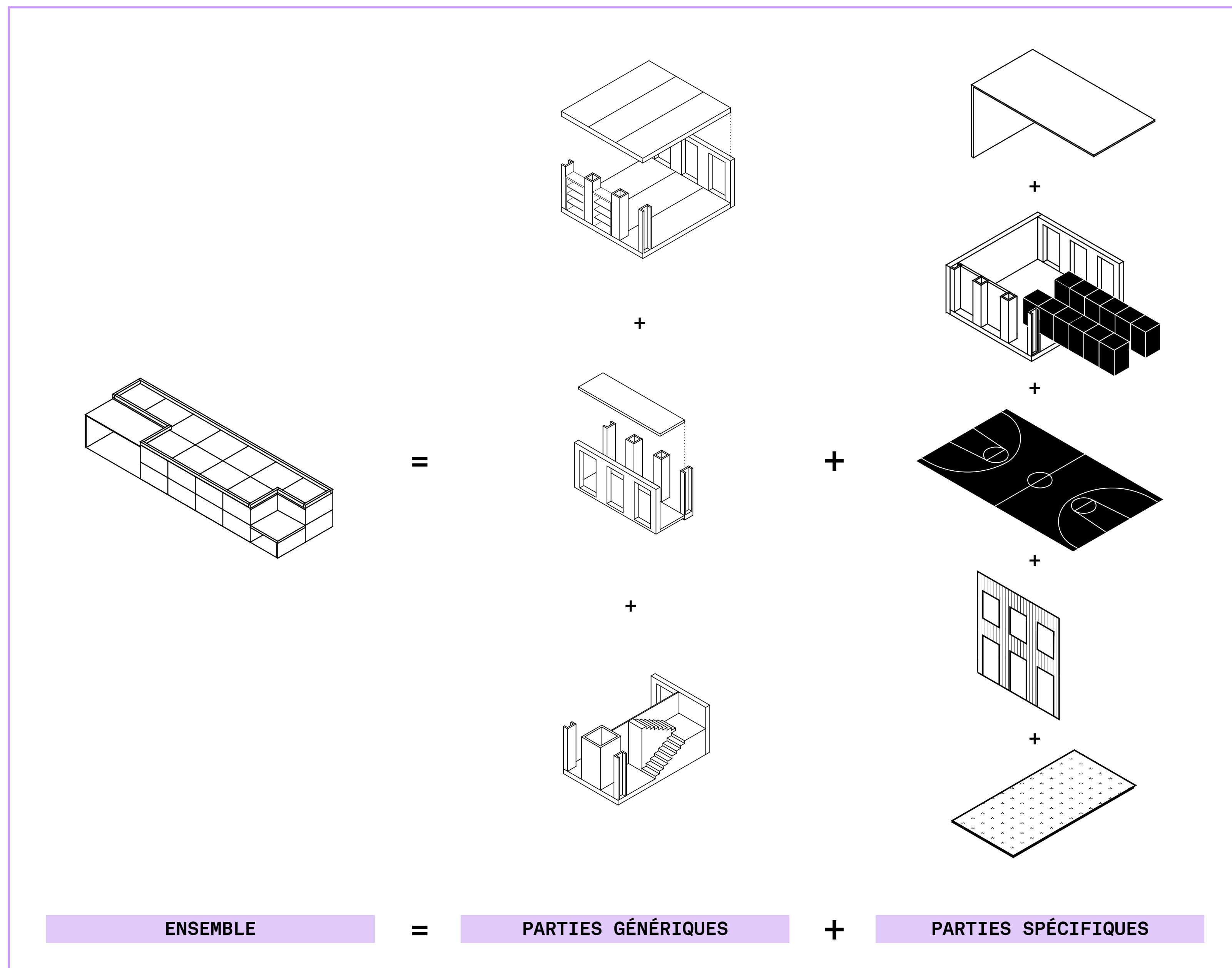
2.3 ÉCHELLE 2 : PARTIES

La deuxième échelle de travail est celle des parties qui constituent les écoles. Suivant le système MODUL R, les ensembles scolaires se décomposent en deux sous-ensembles :

- les parties génériques, prises en charge par le système MODUL R. Ces dernières sont composées de :
 - modules « classe » complets ou 1/3,
 - modules « circulation horizontale » complets ou 1/3,
 - modules « circulation verticale » complets ou 1/3;
- les parties spécifiques, qui sortent du système MODUL R. C'est le cas pour :
 - les préaux et cours de récréation,
 - les cuisines de type industriel,
 - les salles de sport,
 - le parement extérieur du bâtiment,
 - les équipements ou aménagements de toiture (panneaux solaires, toitures vertes, etc.).

Ces parties sortent du système générique pour des raisons dimensionnelles (p. ex., hauteurs plus importantes nécessaires) ou techniques (p. ex., installations techniques spécifiques). Exclues du processus de préfabrication, les parties spécifiques sont à concevoir pour chaque projet en complément des parties génériques, offrant à chaque école une identité unique.

Les surfaces extérieures restent également une question parallèle qui ne peut pas être traitée par le système de préfabrication.



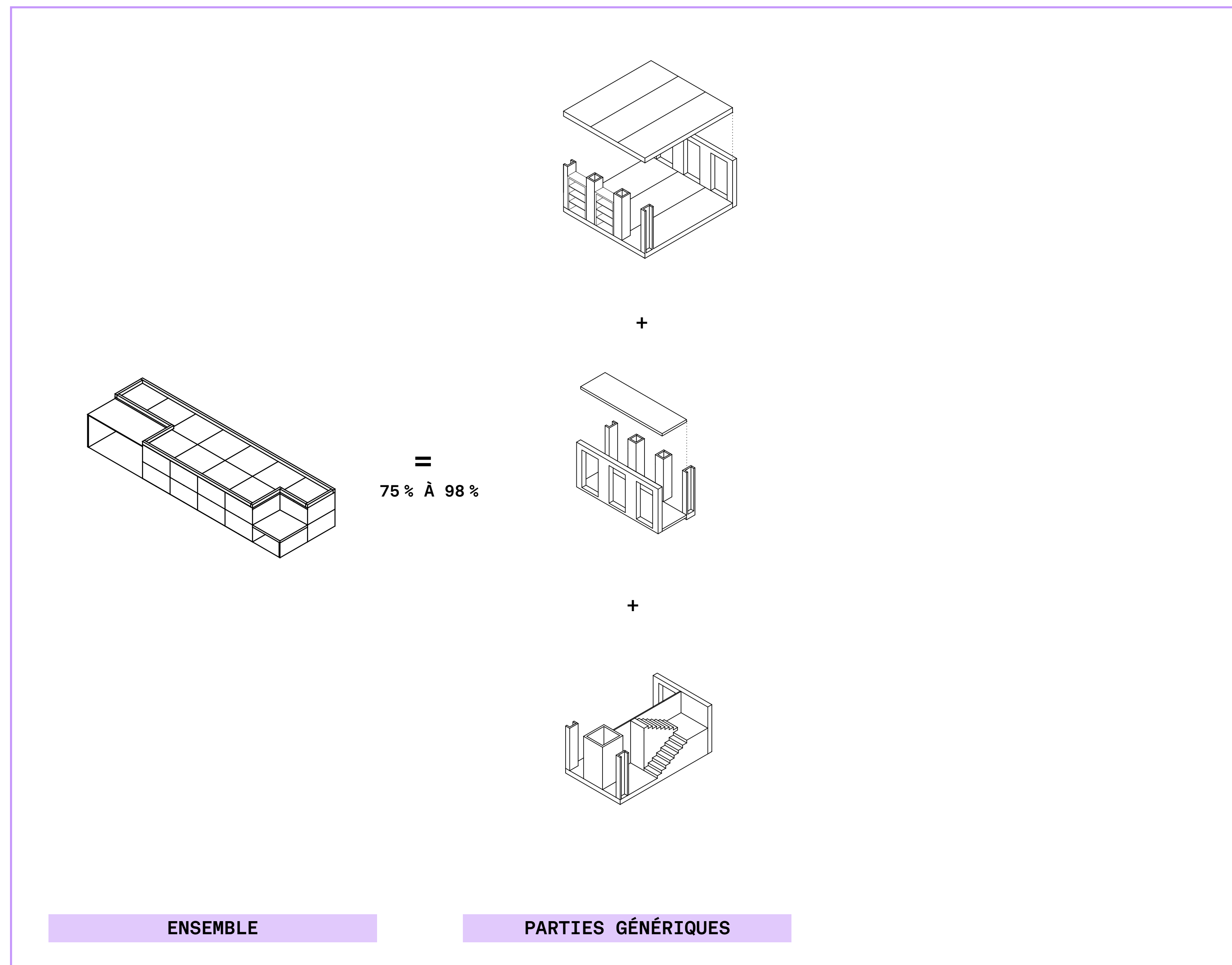
2.3 ÉCHELLE 2 : PARTIES

A / LES MODULES GÉNÉRIQUES

Afin de mesurer le potentiel du système MODUL R, une analyse de programmes d'écoles fondamentales ordinaires en FW-B a été faite pour voir comment ils pourraient être transposés selon la logique du système préfabriqué développé, et donc quelle partie de ces programmes peut être réalisée au départ de modules génériques.

On constate que, pour des écoles fondamentales, le taux de préfabrication (surfacique) est très important. Il oscille entre 75% et 98% des espaces.

Le mode de transposition du programme scolaire en modules, de même que les possibilités d'agencement des modules pour former une école, sont explicités dans le volume I « composition » du vade-mecum.



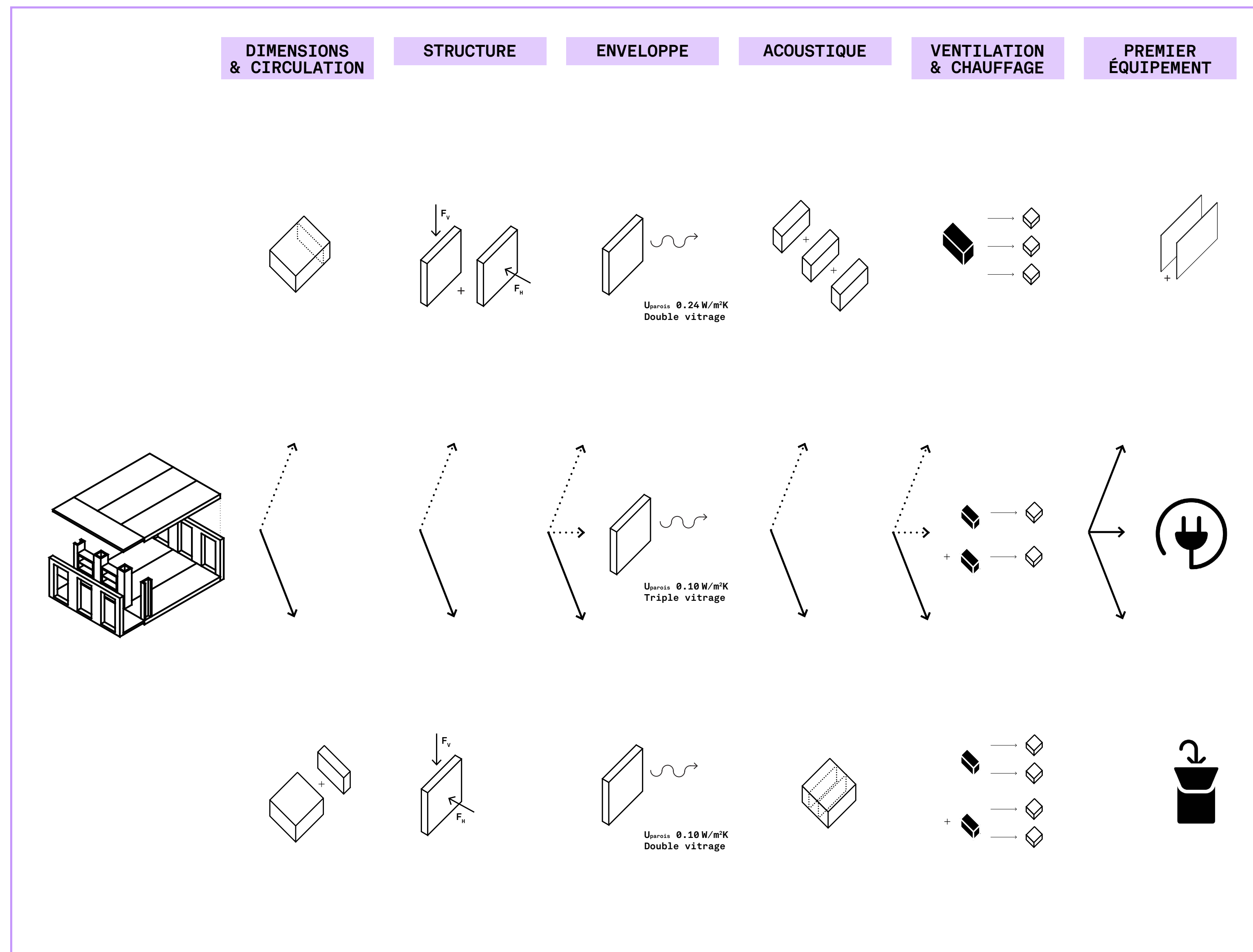
2.3 ÉCHELLE 2 : PARTIES

B / OPTIMALISATION

Les modules génériques, qui sont à la base du système MODUL R, ont été mis en place en veillant à optimiser les performances et la qualité des espaces en termes :

1. de dimensions et d'intégration de la circulation;
2. de structure, à savoir les parois verticales, les dalles et les toitures;
3. d'enveloppe pour ce qui concerne l'isolation, l'étanchéité à l'air, les percements et la protection solaire;
4. de gestion de l'acoustique à l'intérieur des espaces, entre espaces de l'école et avec l'extérieur;
5. de ventilation et chauffage;
6. de premier équipement (cloisonnement interne, électricité et sanitaire).

À la fin de ce chapitre, la combinaison de ces différents axes de réflexion permettra de se faire une idée de ce qu'est un module de base de MODUL R.



Arbre logique décrivant les pistes explorées par la recherche et les options prises pour le système MODUL R.

2.3 ÉCHELLE 2 : PARTIES

C / DIMENSIONS ET CIRCULATION

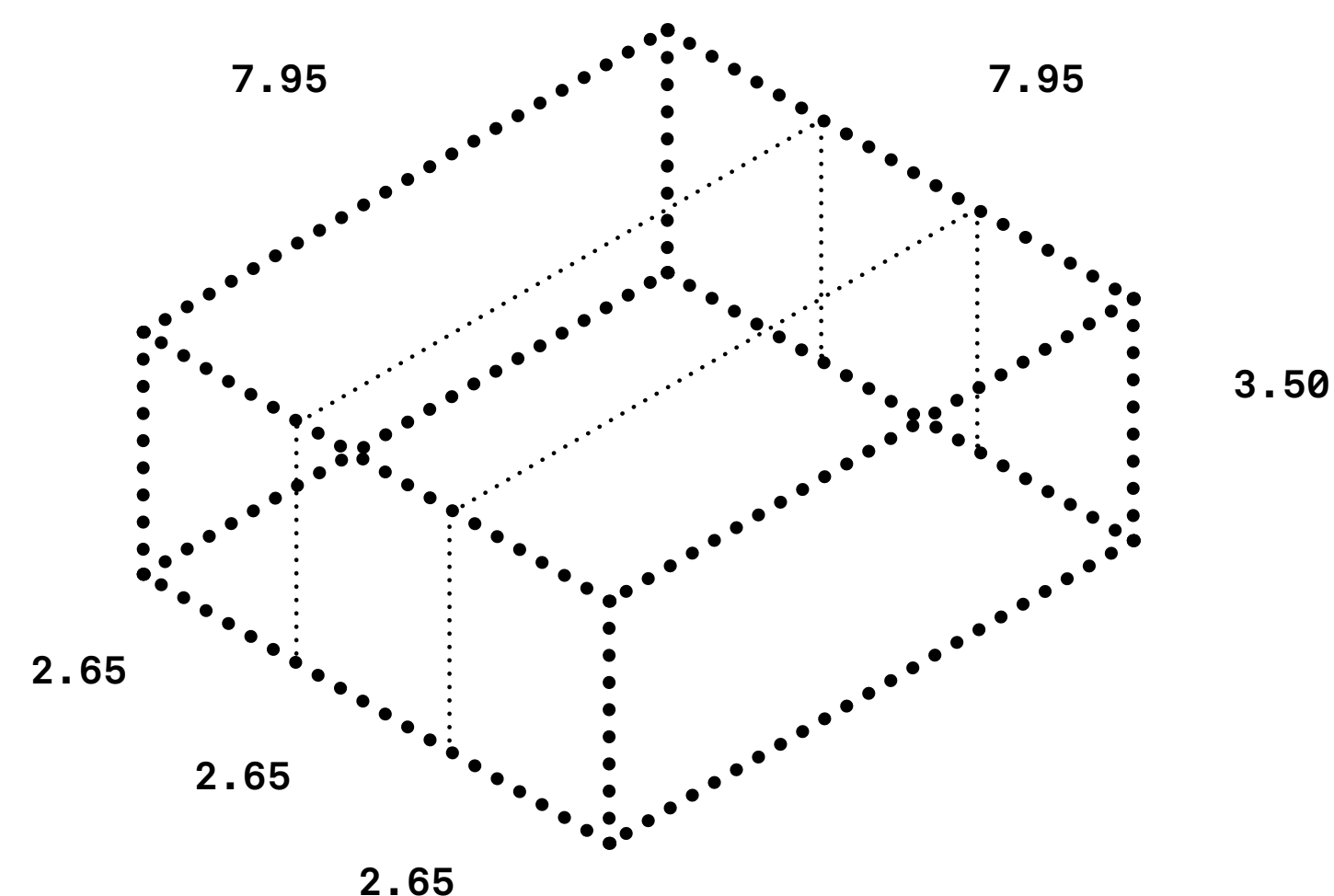
I. DIMENSIONS DU MODULE DE BASE

Comme précisé au chapitre 1, l'école préfabriquée est considérée comme une addition de modules autonomes dont les dimensions correspondent à une classe de 60m² (surface nette). Afin de rendre ce module classe le plus polyvalent possible en termes d'espace, sa surface est organisée en un carré dont les côtés mesurent 7.95m (7.05m par 7.8m nets à l'intérieur d'une classe). Le format carré de la classe est choisi pour des raisons :

- d'utilisation indifférenciée des côtés selon les envies des enseignants et des élèves (deux côtés seront opaques, deux autres vitrés, cf. paragraphe « enveloppe »);
- de possibilité de combiner des modules tournés de 90°.

Le module de classe lui-même est composé de 3 travées de 2.65m de large (soit 3 fois 20m²), ce qui permet le transport des éléments qui le composent. Cette mesure est centrale à travers toutes les dimensions en plan du système MODULR. Elle constitue la trame de base de la grille de composition des écoles (cf. volume I « composition »).

La hauteur du module est déterminée, elle aussi, par un optimum entre des contingences de fabrication, de transport, d'éclairage naturel, d'isolation thermique et de coût. Elle est de 3.5m (3.12m nets à l'intérieur d'une classe).



2.3 ÉCHELLE 2 : PARTIES

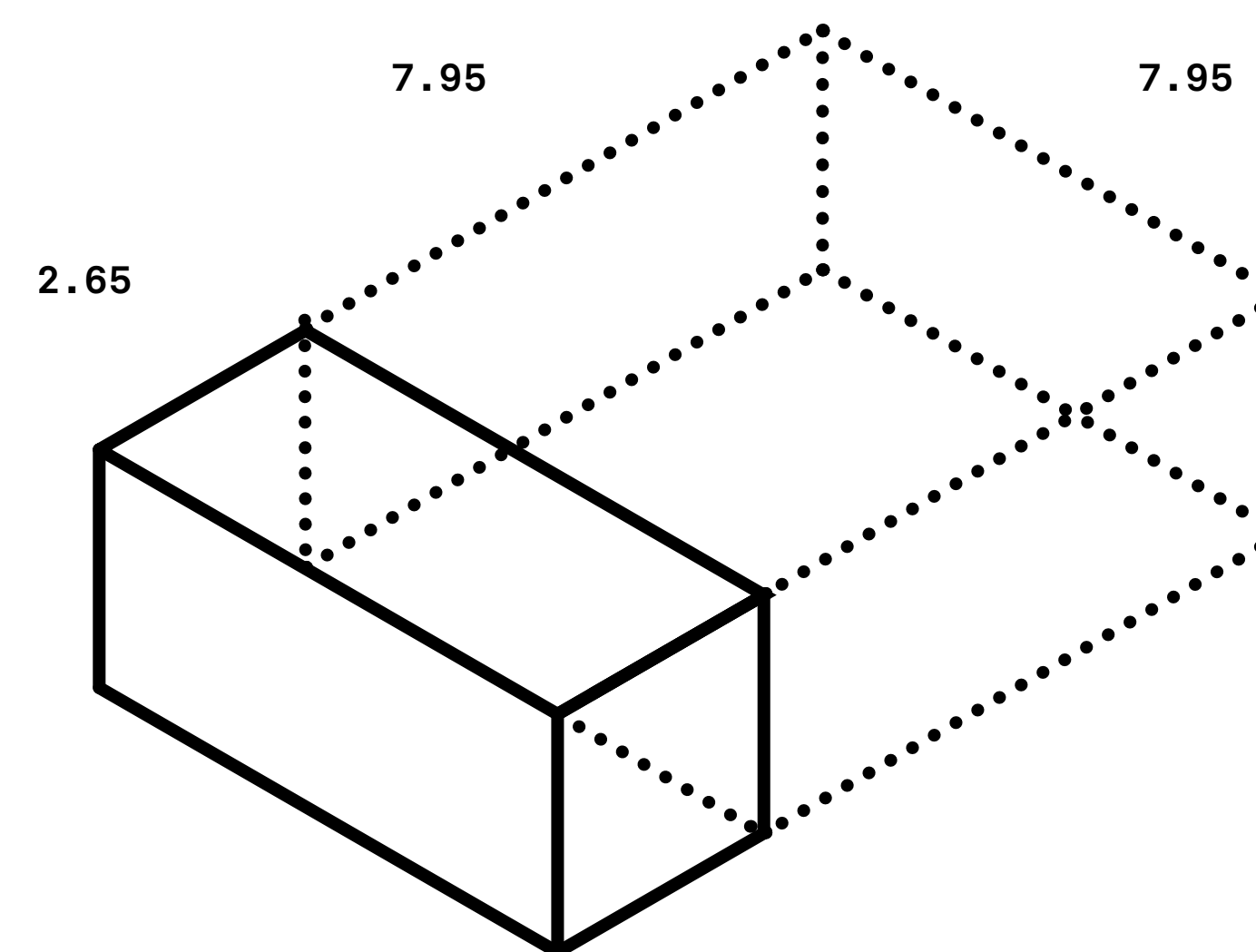
C / DIMENSIONS ET CIRCULATION

II. CIRCULATIONS HORIZONTALES

Les espaces de circulation horizontales sont contigus à un côté de la classe. Ils constituent des modules indépendants des modules de classes. Pour des raisons de composition (cf. volume I « composition »), leur largeur correspond à 1/3 des dimensions de la classe, soit 2.65m. Leur hauteur, comme celle des classes, est de 3.5m (3.32m nets).

La distinction entre modules de classes et de circulation horizontale permet :

- une optimisation de leurs dimensionnements respectifs tant au niveau structurel (la portée au niveau du couloir est nettement plus faible que celle des classes) qu'acoustique (les normes sont moins contraignantes de couloir à couloir que de classe à classe);
- un montage simplifié des éléments constitutifs de la classe et du couloir;
- des dalles de plafond des couloirs réalisées d'un seul tenant;
- la possibilité de réaliser des classes sans couloir;
- la possibilité d'élargir les couloirs des écoles en fonction des besoins sans pour autant remettre complètement en cause le système MODULR basé sur le module de classe. Le cas échéant, il suffirait d'adapter les modules de circulation horizontale.



2.3 ÉCHELLE 2 : PARTIES

C / DIMENSIONS ET CIRCULATION

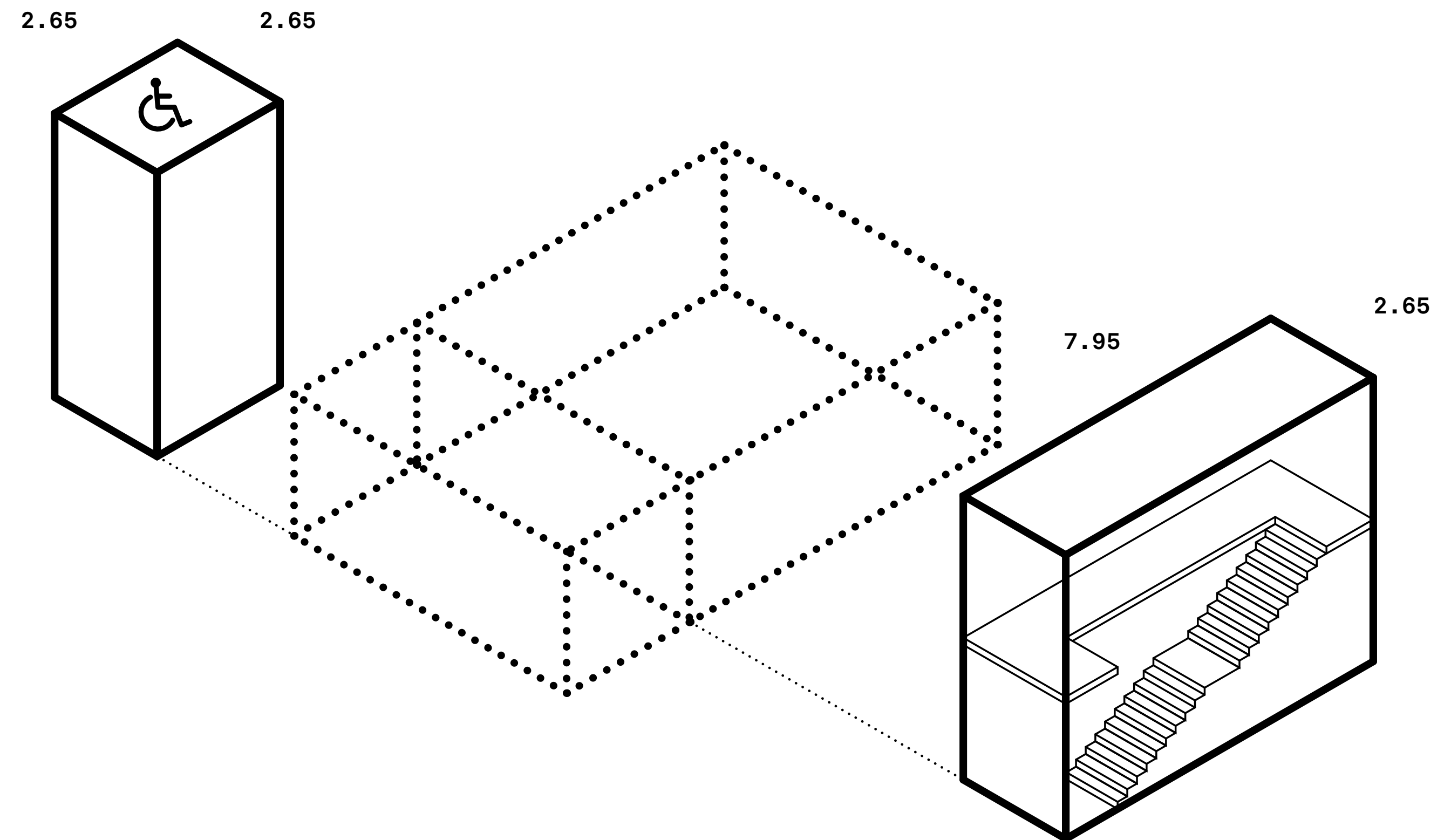
III. CIRCULATIONS VERTICALES

Les espaces de circulation verticale prennent place dans la trame de 2.65m du système MODULR. Tout comme les modules de circulation horizontale, ils constituent des modules indépendants des modules de classes. Pour des raisons de composition (cf. volume I « composition »), leur largeur correspond à 1/3 des dimensions de la classe, soit 2.65m. Leur longueur, quant à elle, dépend de leur fonction :

- 7.95m pour les modules comprenant un escalier. Cet escalier a une largeur utile de 1.2m de large. Pour des raisons de polyvalence, il s'agit d'un escalier droit, ce qui permet un accès au module depuis ses deux petits côtés;
- 2.65m pour les modules accueillant un ascenseur.

La distinction entre modules de classes et de circulation verticale permet d'optimiser :

- leurs dimensionnements respectifs;
- le compartimentage au feu des espaces de circulation verticale;
- le montage des éléments constitutifs des espaces de circulation verticale.



2.3 ÉCHELLE 2 : PARTIES

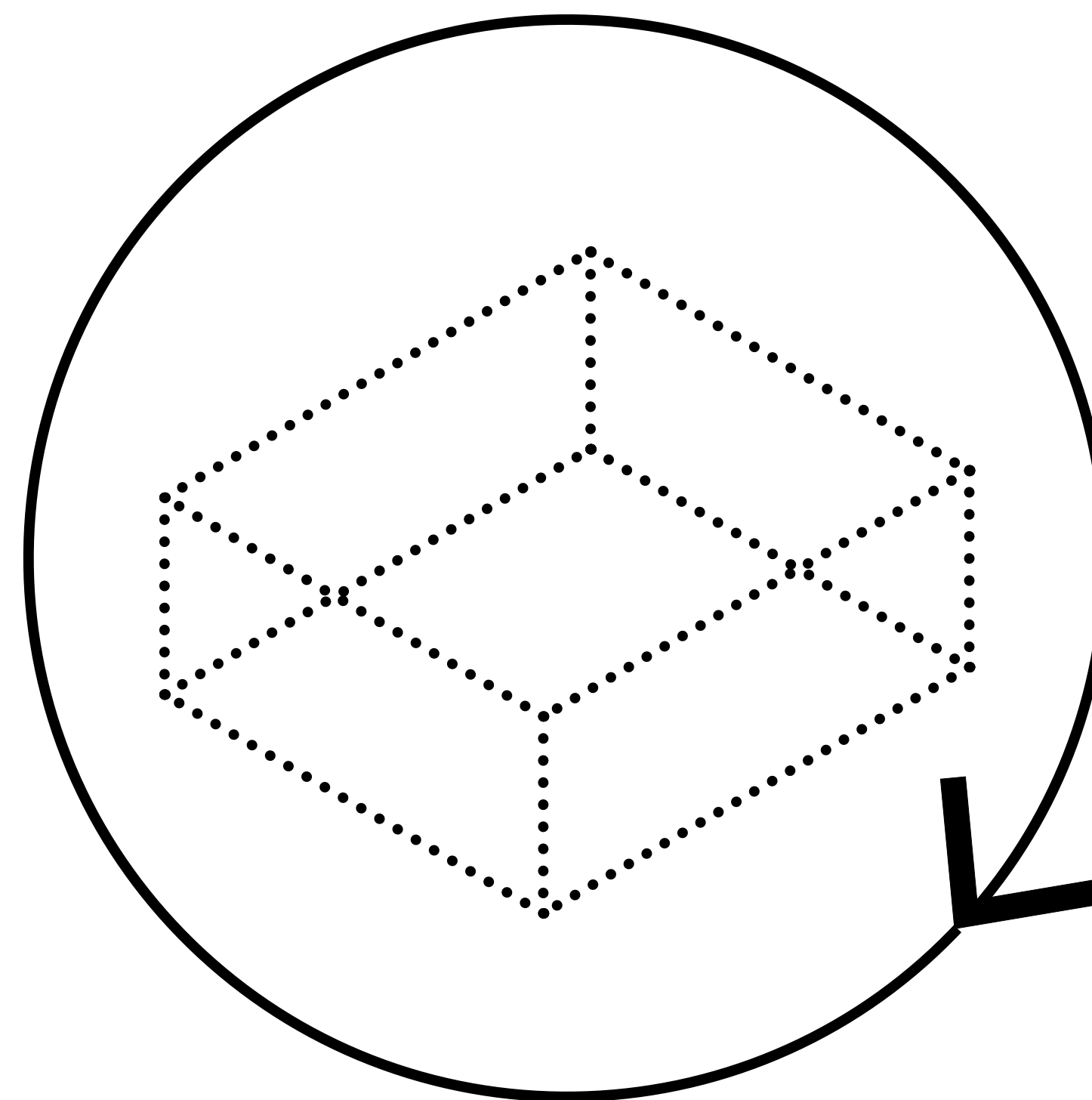
D / STRUCTURE

I. AUTONOMIE

Le module proposé est autonome structurellement, ce qui signifie qu'il peut être construit seul ou accompagné d'autres modules sans grandes modifications structurelles. Cette hypothèse contraignante constructivement permet un éventail quasiment infini d'écoles.

Les éléments structurels qui garantissent le comportement d'ensemble du module autonome supportent donc les :

- charges verticales reprenant le poids propre de la structure, celui des usagers et du mobilier de l'école, les charges liées à la pluie ou l'accumulation de neige et des installations prévues en toiture. Outre cela, la structure du système MODULR a été dimensionnée pour permettre, au choix, l'installation :
 - de panneaux solaires photovoltaïques,
 - d'une toiture végétalisée extensive non accessible avec 100 kg/m^2 de charge (en saturé),
 - d'une terrasse, moyennant l'installation de garde-corps (cf. paragraphe « enveloppe »);
- charges au vent: le dimensionnement du module a pris en compte une charge de vent de 1 kN/m^2 sur l'ensemble des façades. Elle correspond à une vitesse de vent de 25 m/s (période de retour de 50 ans) afin de couvrir l'ensemble de la FW-B;
- efforts liés à des séismes éventuels;
- effets thermiques sur la structure.



2.3 ÉCHELLE 2 : PARTIES

D / STRUCTURE

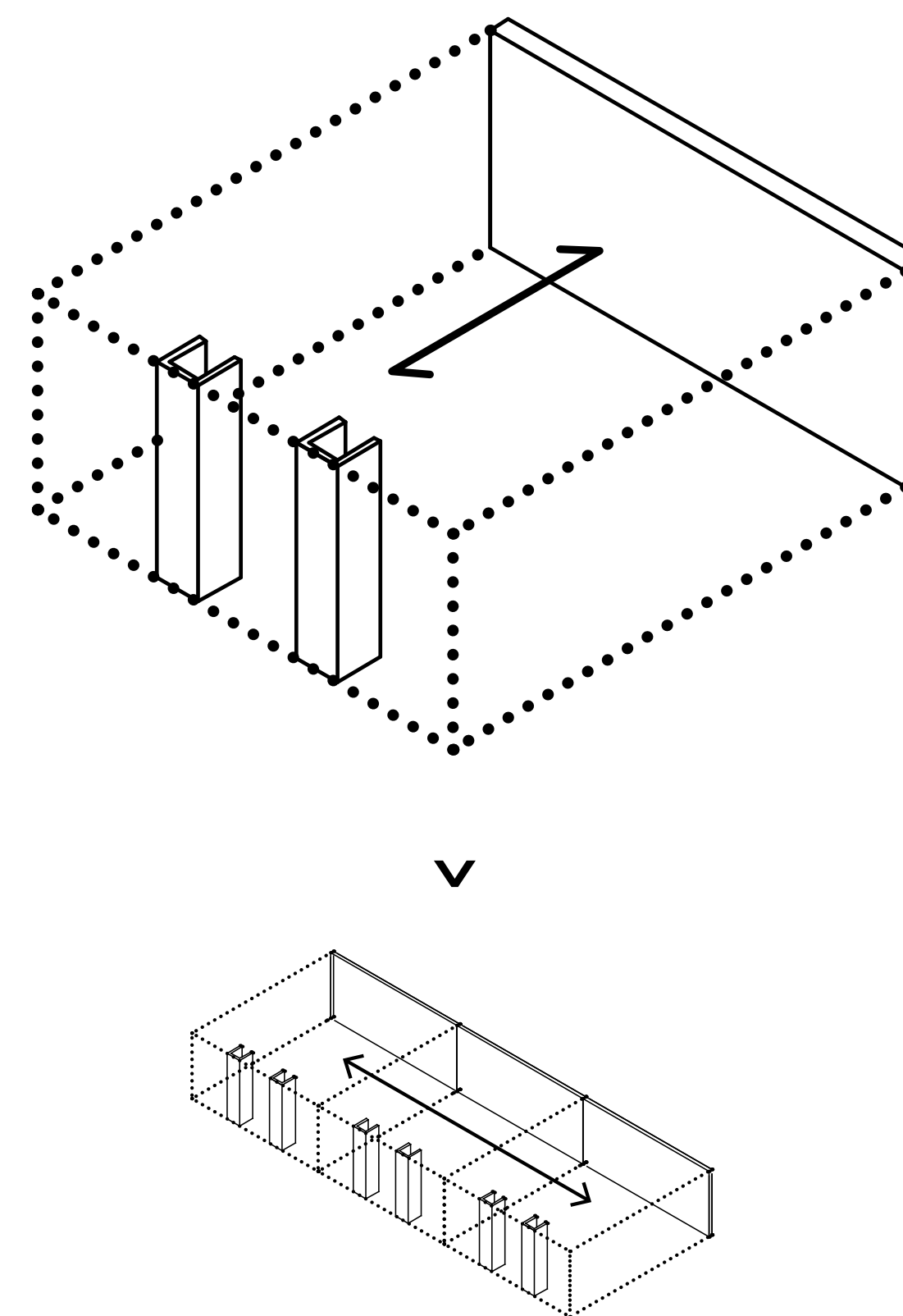
II. SENS DE PORTÉE

Outre l'autonomie structurelle du module, le système MODULR vise une grande flexibilité des espaces, grâce, notamment, à leur combinaison. Afin de permettre une ouverture entre deux modules successifs et ainsi proposer des espaces plus grands résultant de leur assemblage, les éléments porteurs du module se situent au niveau de ses façades :

- extérieures;
- intérieures (façade côté couloir lorsqu'il existe).

D'un point de vue structurel, les charges horizontales et verticales sont transmises aux fondations par l'intermédiaire :

- de façades en panneaux de CLT à l'étage et en lamellé-collé (LC) au rez-de-chaussée;
- de piliers en LC à l'interface entre module de classe et de couloir, jouant également le rôle de contreventement. Ces piliers en forme de U permettent la reprise des charges verticales et horizontales dans les 2 directions et l'intégration des techniques (cf. paragraphe « HVAC »);
- de dalles en CLT qui jouent le rôle de diaphragme horizontal et reposent sur des poutres en LC qui sont appuyées sur les façades et les piliers. Comme évoqué plus haut, ce principe rend non porteuses les parois perpendiculaires aux façades, ce qui augmente la flexibilité des espaces.



2.3 ÉCHELLE 2 : PARTIES

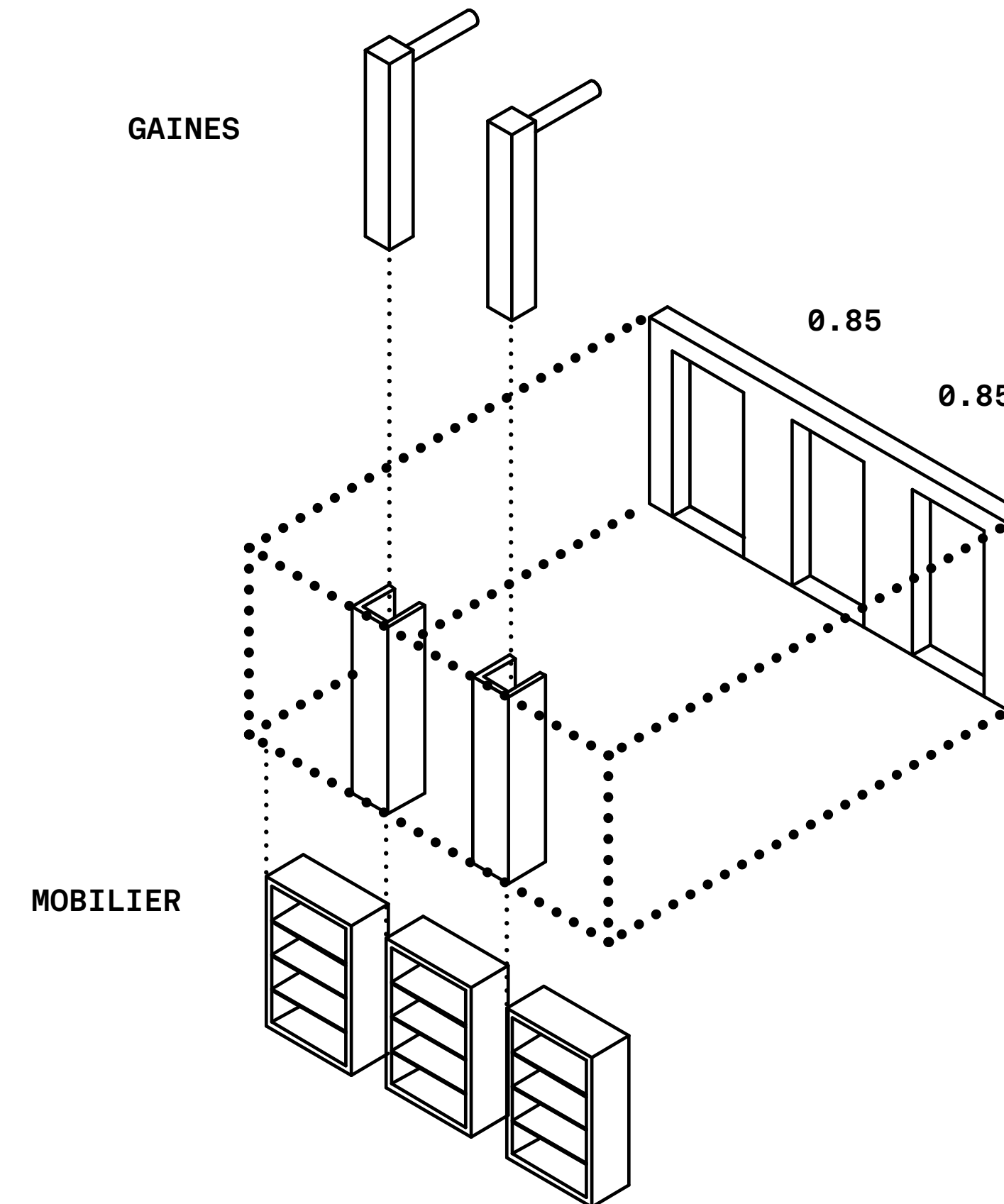
D / STRUCTURE

III. TYPES D'APPUIS

Comme précisé dans la section « sens de portée », les éléments porteurs verticaux diffèrent en fonction de leur position :

- s'ils se trouvent en façade extérieure, il s'agit alors de pans de murs percés de baies. Les trumeaux de ces murs font une largeur de 0.85m, ce qui est le résultat d'une optimisation entre performances structurelles et thermiques, surchauffe, ergonomie et éclairage naturel,
- s'ils se trouvent en façade intérieure, il s'agit alors de piliers. Les dimensions ($l = 0.85\text{m}$, $p = 0.90\text{m}$, intervalle = 1.80m) de ces derniers sont telles qu'ils permettent :
 - d'insérer du mobilier standard entre deux éléments successifs (armoires, vestiaires, mais aussi des WC pour les classes maternelles),
 - d'accueillir les gaines de ventilation, de chauffage, d'eau et d'électricité. C'est pour cette raison que, dorénavant, nous nous référerons à ces éléments comme « piliers-gaines ».

Les trumeaux des façades et des piliers-gaines sont parfaitement alignés afin de recevoir les poutres en LC qui supportent les planchers.



2.3 ÉCHELLE 2 : PARTIES

D / STRUCTURE

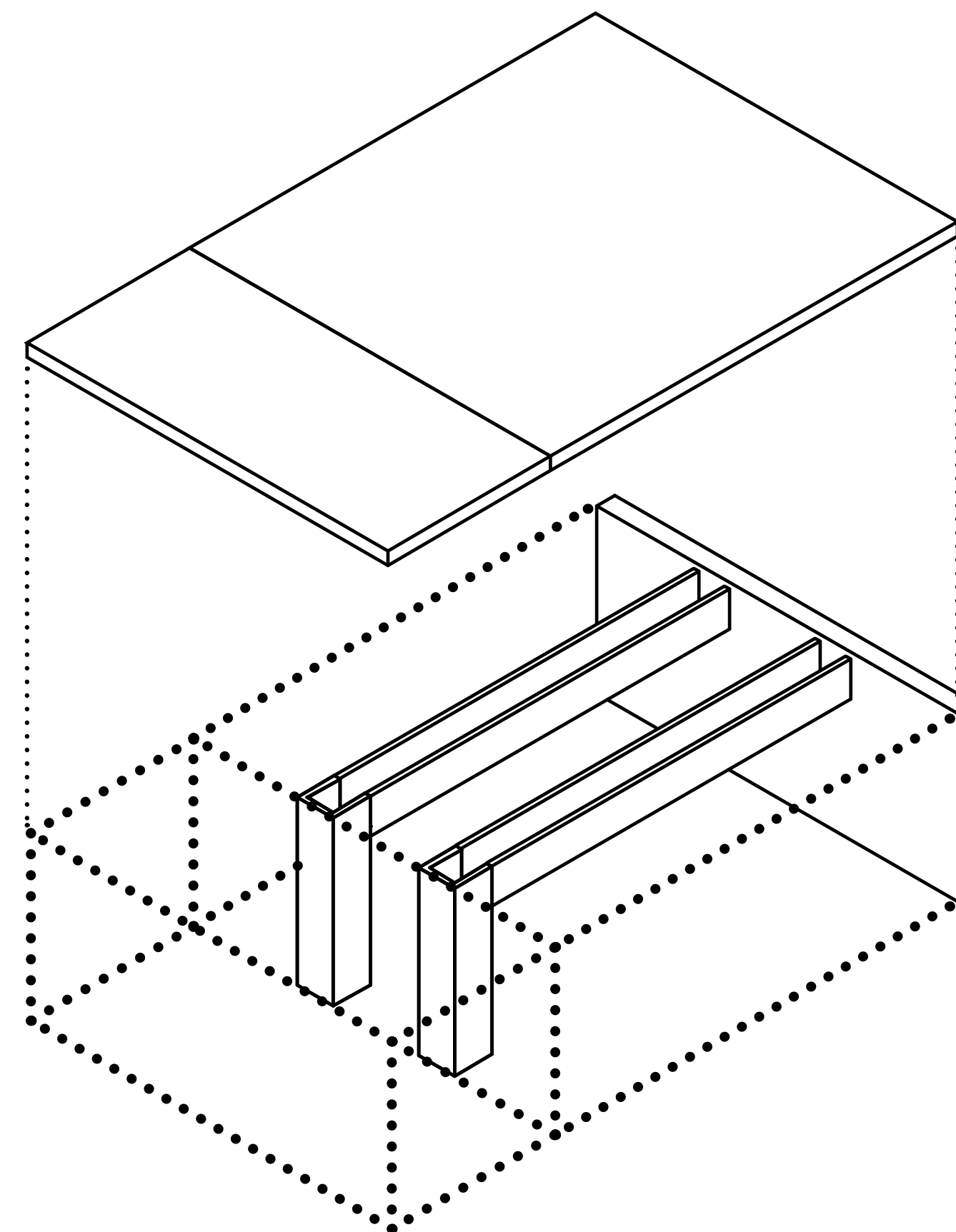
IV. POUTRES ET PLANCHERS

Entre les éléments porteurs verticaux que sont les façades extérieures et les piliers-gaines, on trouve les dalles de planchers. Structurellement, ces dernières sont composées de :

- pour les modules de classe :
 - poutres en LC dont l'épaisseur (140 mm) est identique aux tranches des piliers-gaines;
 - panneaux en CLT dont l'épaisseur varie en fonction de leur position dans le module (100 mm pour le sol du premier étage, 90 mm pour la toiture);
- pour les modules de circulation :
 - panneaux en CLT dont l'épaisseur varie en fonction de leur position dans le module (120 mm pour le sol du premier étage, 90 mm pour la toiture).

La ventilation des classes est parfaitement coordonnée avec les éléments de structure :

- les conduits verticaux sont disposés dans les piliers-gaines;
- les gaines horizontales de pulsion et d'extraction sont disposées entre les poutres en LC.



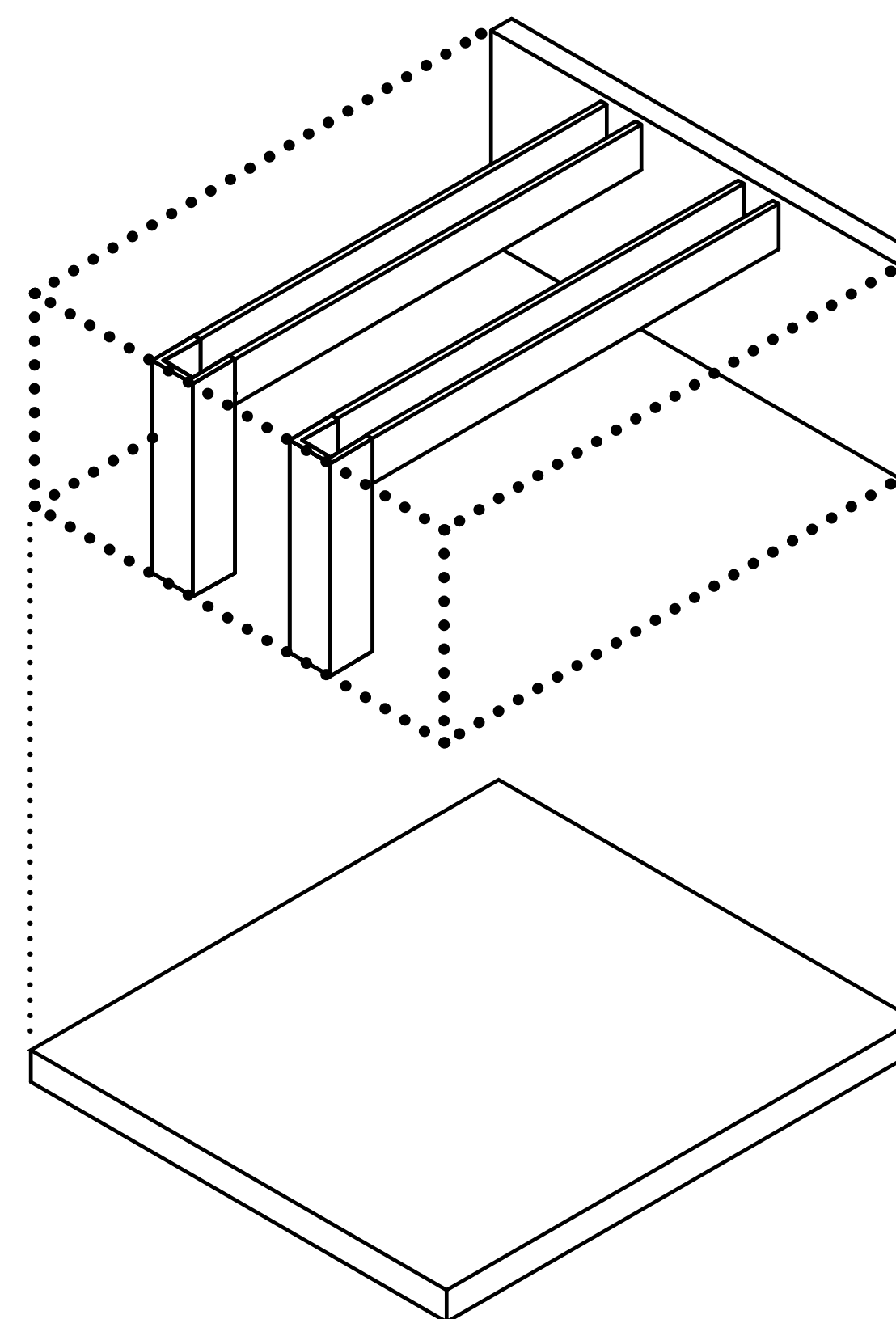
2.3 ÉCHELLE 2 : PARTIES

D / STRUCTURE

V. SOL

Si les dalles d'étage et de toiture sont en bois, le système MODULR propose une dalle de sol sous la forme d'un radier général en béton (qui est donc un élément spécifique), ce qui lui permet de :

- gérer l'arrivée et offrir une protection naturelle contre le gel aux impétrants et aux évacuations liés au projet d'ensemble de l'école avant l'installation des modules préfabriqués;
- créer une base plane pour l'installation des éléments préfabriqués en bois du module;
- s'adapter à tout type de sol (y compris ceux de faible capacité portante: module de l'ordre 10 000 kN/m³) de par la faible importance des sollicitations horizontales et verticales (structure bois légère);
- être indépendante des éventuels massifs de fondation présents préalablement dans le sous-sol;
- ne pas impacter la conception du projet ni ses détails de superstructure, quelle que soit l'épaisseur du radier, dont une modification éventuelle d'épaisseur peut toujours être gagnée vers le bas;
- être peu sensible aux remontées capillaires;
- contribuer à l'inertie thermique du bâtiment;
- être exécutée par toute entreprise générale sans avoir recours à un sous-traitant spécifique (faux puits ou micropieux);
- obtenir le meilleur rapport performance/coût.



2.3 ÉCHELLE 2 : PARTIES

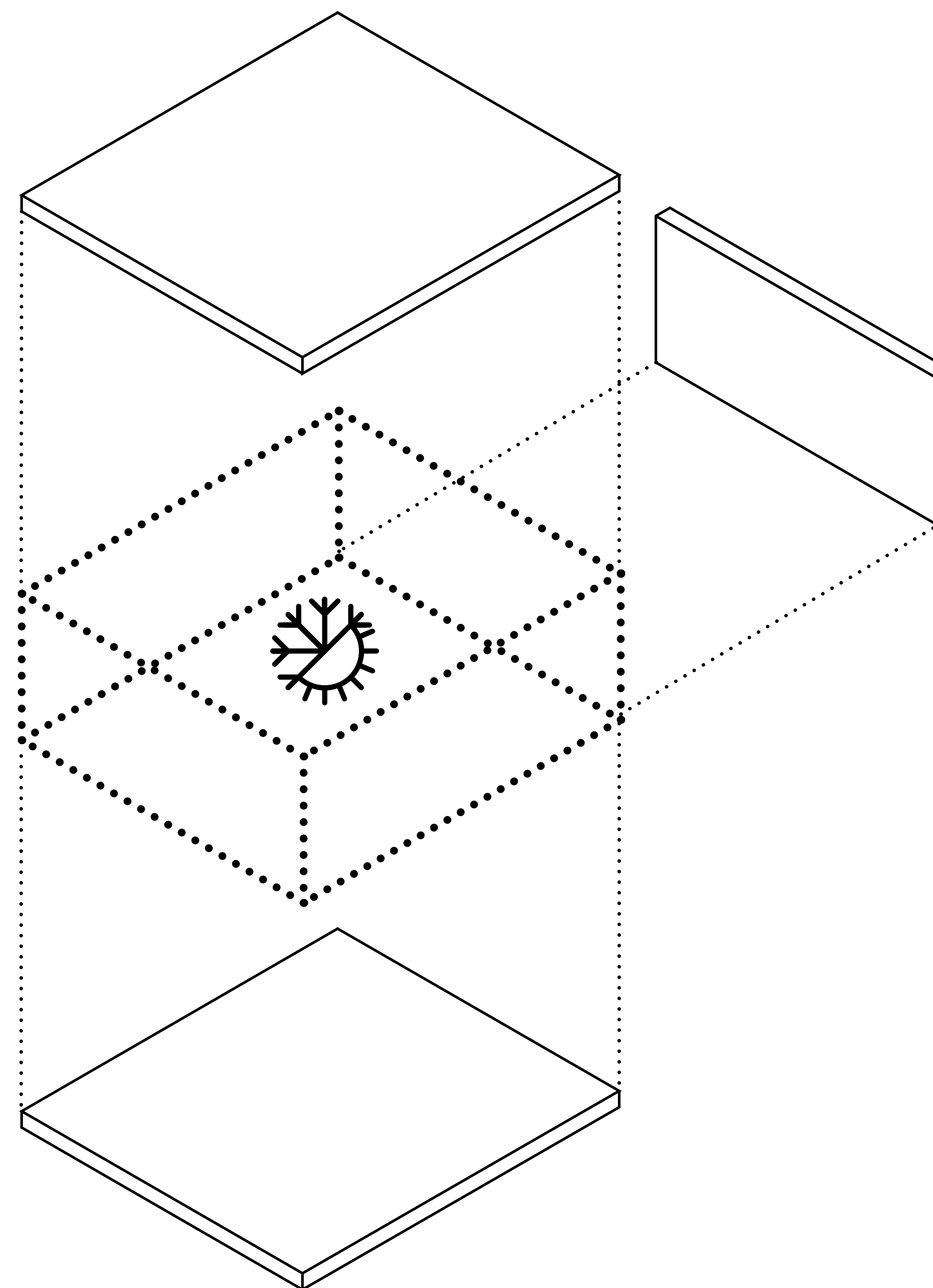
E / ENVELOPPE

I. ISOLATION

Les performances d'isolation thermique retenues pour les parois du système MODULR sont celles qui correspondent aux exigences en vigueur en FW-B. Celles-ci permettent de ne devoir intervenir que sur le choix des châssis (double ou triple vitrage) pour améliorer les performances thermiques du module sans impacter la structure portante, quelles que soient l'implantation géographique, l'orientation ou la géométrie de l'école concernée.

De manière succincte, l'isolation prévue pour le module est :

- parois verticales : en fibre de bois (340 mm);
- toiture : en laine minérale (340 mm);
- sol : en laine minérale (100 mm).



2.3 ÉCHELLE 2: PARTIES

E / ENVELOPPE

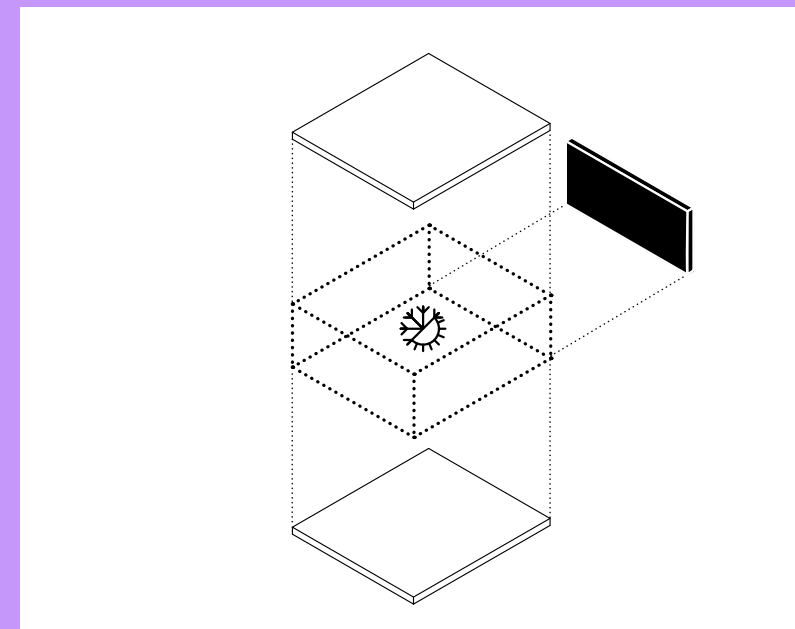
I. ISOLATION

Les performances d'isolation thermique retenues pour les parois du système MODULR sont celles qui correspondent aux exigences en vigueur en FW-B. Celles-ci permettent de ne devoir intervenir que sur le choix des châssis (double ou triple vitrage) pour améliorer les performances thermiques du module sans impacter la structure portante, quelles que soient l'implantation géographique, l'orientation ou la géométrie de l'école concernée.

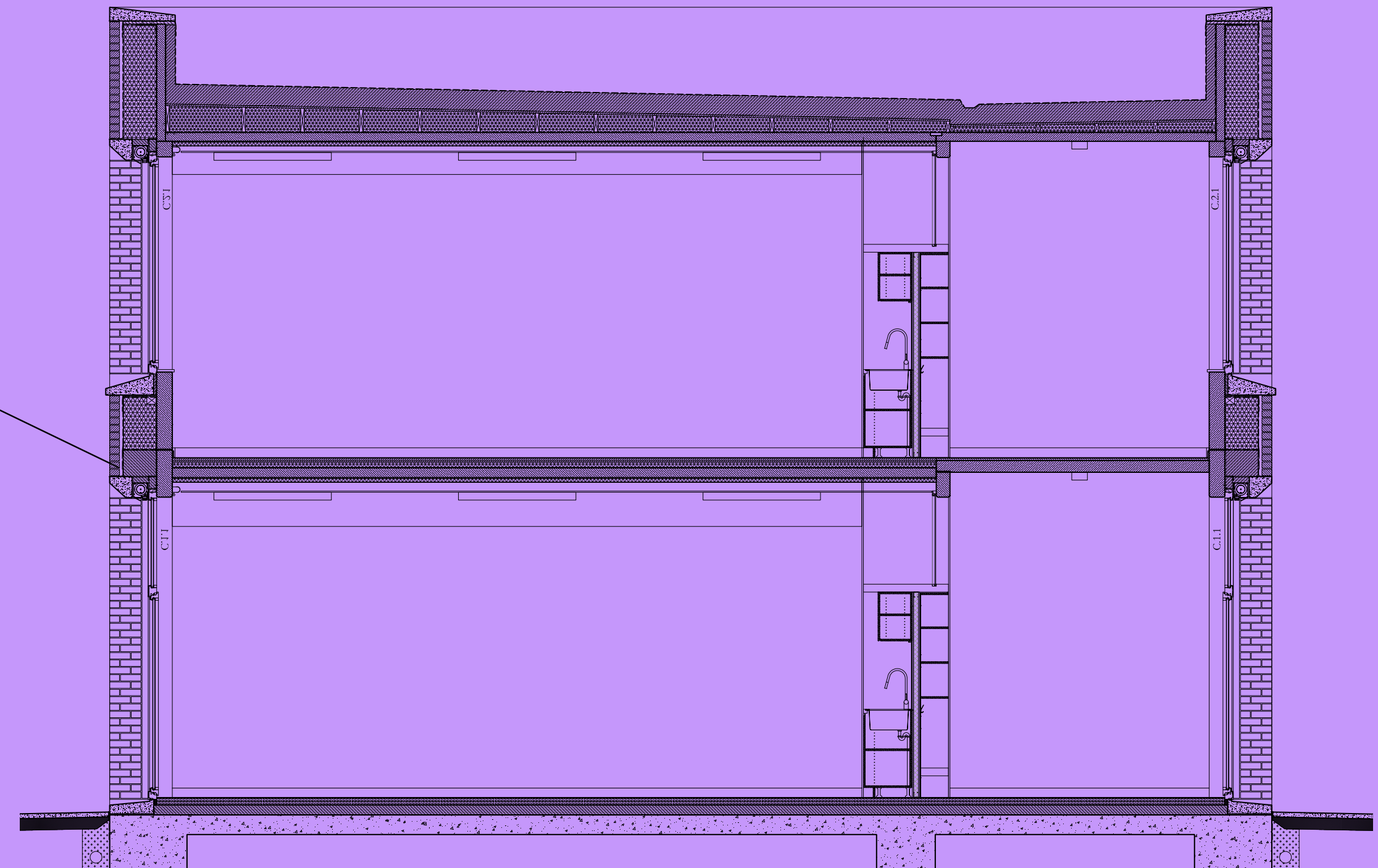
Pour les parois verticales, la composition est la suivante (de l'extérieur vers l'intérieur):

- panneau CLT 160 mm;
- pare-vapeur;
- fibre de bois 340 mm;
- pare-pluie;
- parement au choix (brique 210 X 100 X 65 mm dans le dessin ci-contre).

Le U de ce complexe est de $0.10 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Panneau CLT 160 mm
Pare-vapeur
Fibre de bois 340 mm
Pare-pluie
Parement au choix



2.3 ÉCHELLE 2 : PARTIES

E / ENVELOPPE

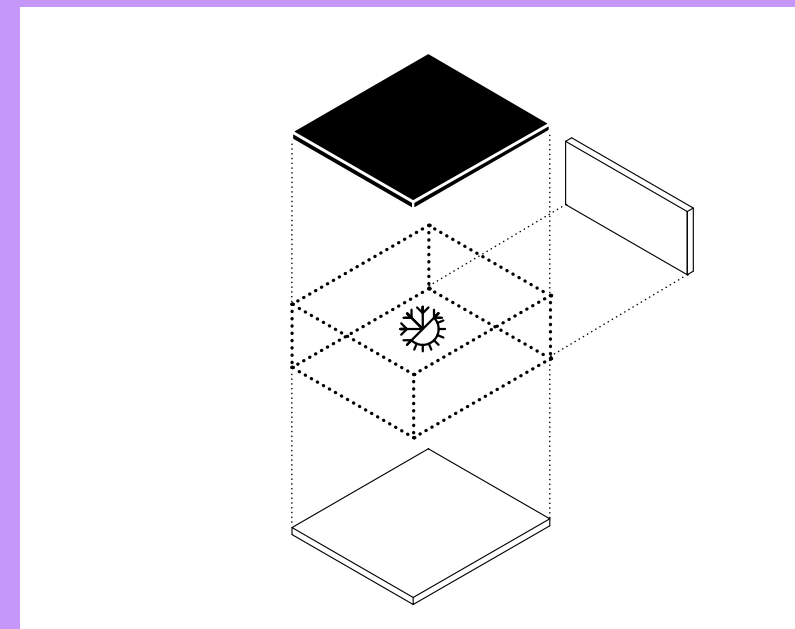
I. ISOLATION

Les performances d'isolation thermique retenues pour les parois du système MODULR sont celles qui correspondent aux exigences en vigueur en FW-B. Celles-ci permettent de ne devoir intervenir que sur le choix des châssis (double ou triple vitrage) pour améliorer les performances thermiques du module sans impacter la structure portante, quelles que soient l'implantation géographique, l'orientation ou la géométrie de l'école concernée.

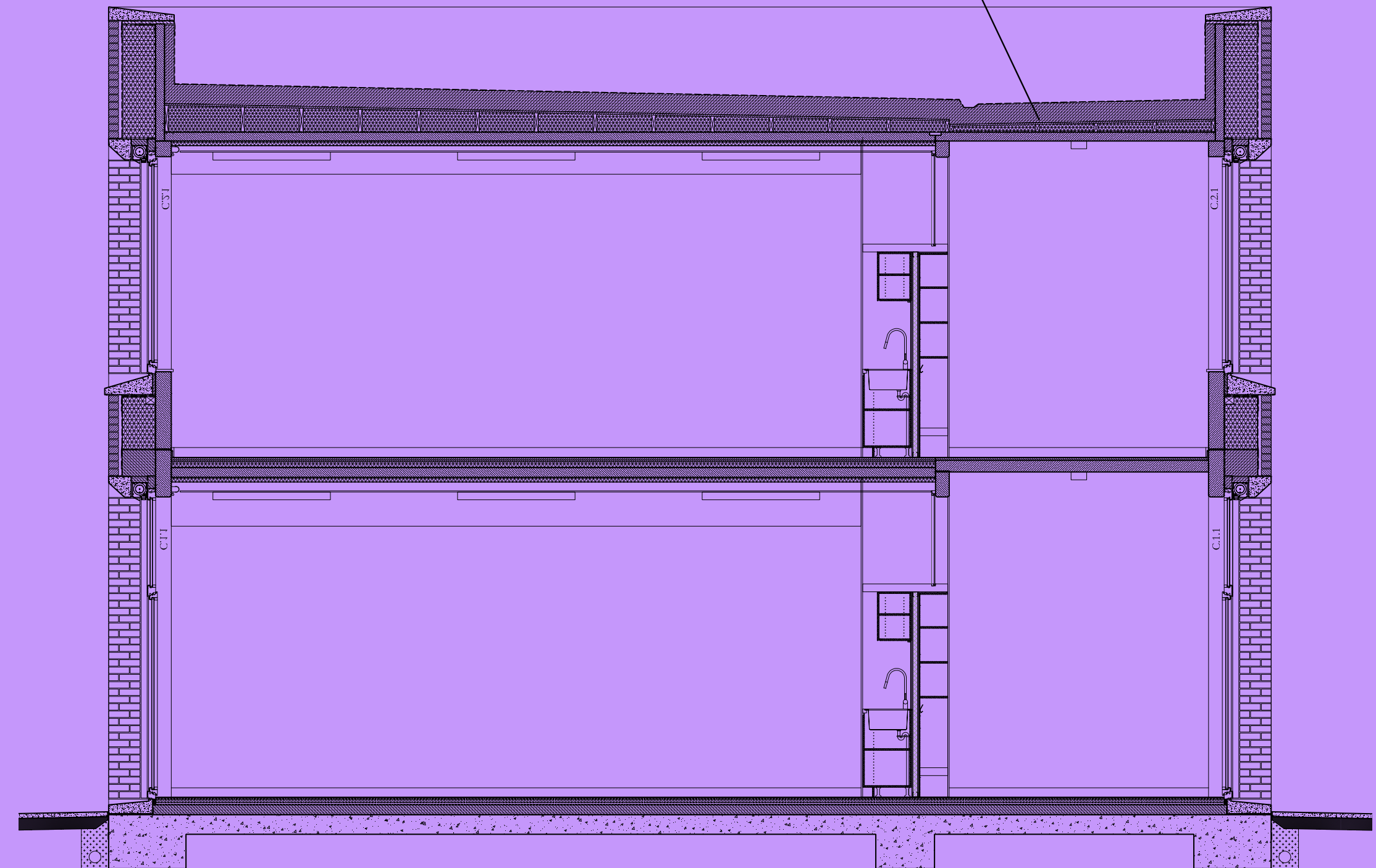
Pour les dalles de toitures, la composition est la suivante (de l'intérieur vers l'extérieur):

- EPDM;
- laine minérale 200 mm;
- panneau OSB 18 mm;
- pente et remplissage laine minérale moy. 140 mm;
- pare-vapeur;
- panneau CLT 90 mm;
- poutres Lamellé-collé 340 x 140 mm;
- laine minérale 50 mm;
- panneau absorbant acoustique suspendu 12.5 mm.

Le U de ce complexe est de $0.10 \text{ W/m}^2\text{K}$.



EPDM
 Laine minérale 200 mm
 Panneau OSB 18 mm
 Pente et remplissage laine minérale moy. 140 mm
 Pare-vapeur
 Panneau CLT 90 mm
 Poutres lamellé-collé 340 x 140 mm
 Laine minérale 50 mm
 Panneau absorbant acoustique suspendu 12.5 mm



2.3 ÉCHELLE 2: PARTIES

E / ENVELOPPE

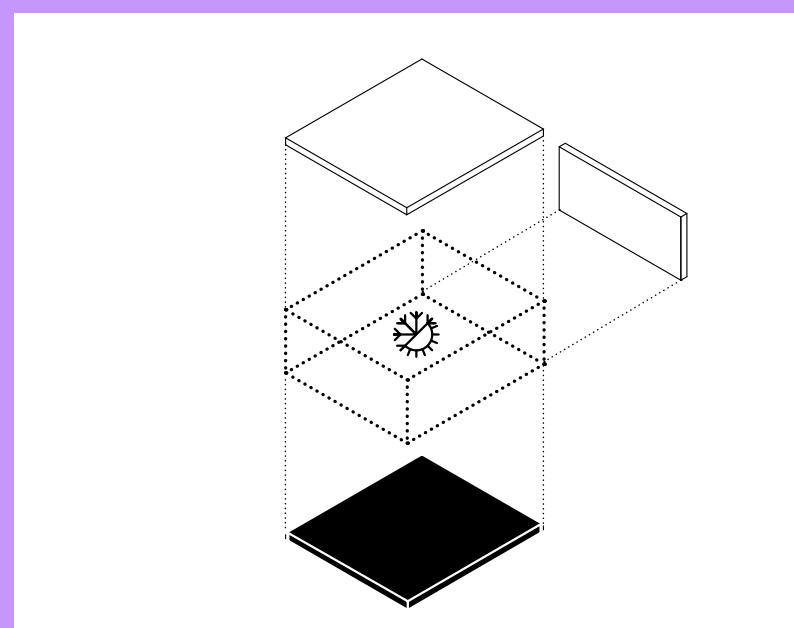
I. ISOLATION

Les performances d'isolation thermique retenues pour les parois du système MODULR sont celles qui correspondent aux exigences en vigueur en FW-B. Celles-ci permettent de ne devoir intervenir que sur le choix des châssis (double ou triple vitrage) pour améliorer les performances thermiques du module sans impacter la structure portante, quelles que soient l'implantation géographique, l'orientation ou la géométrie de l'école concernée.

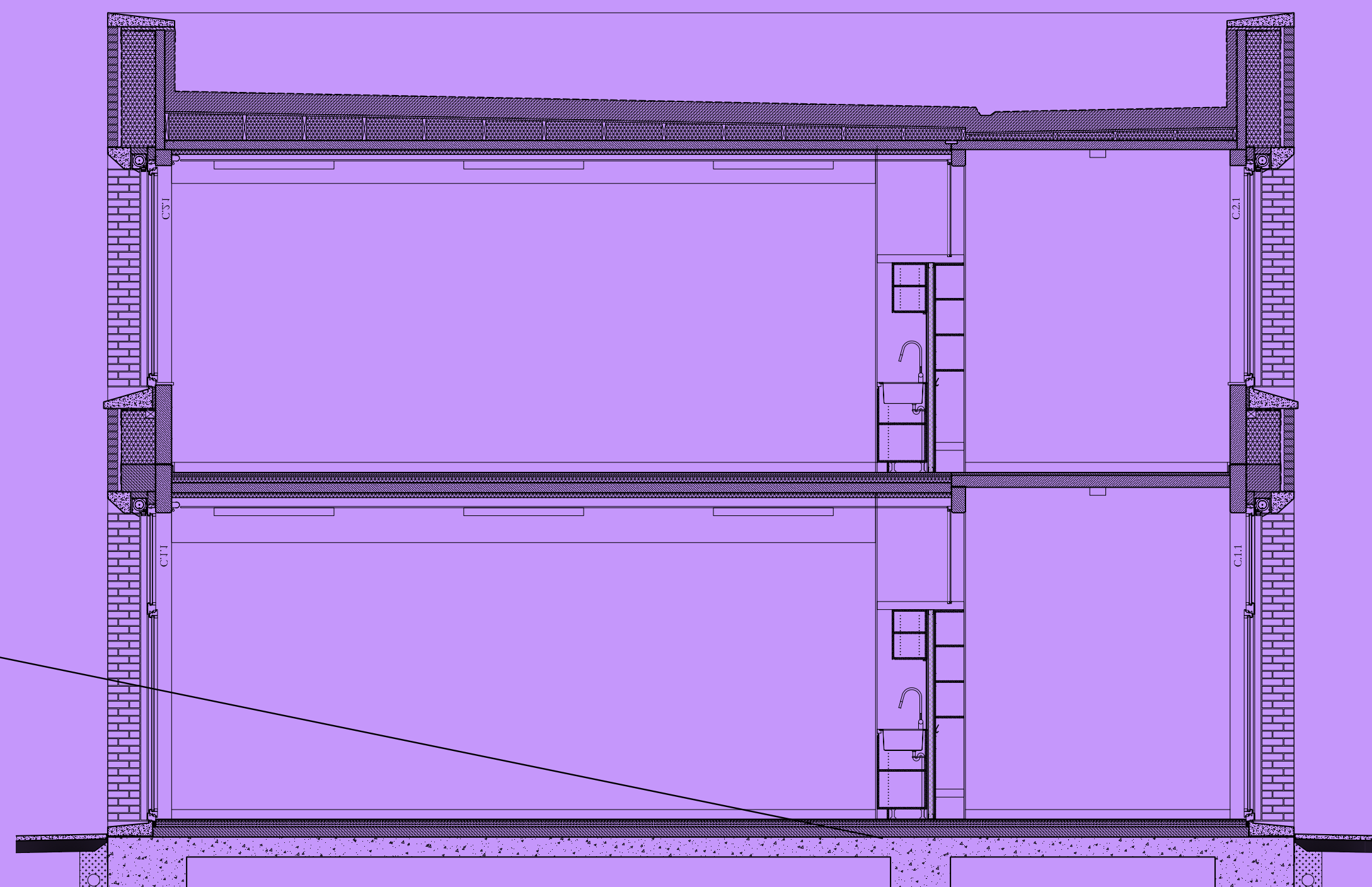
Pour les dalles de sol, la composition est la suivante (de l'intérieur vers l'extérieur):

- linoleum 4 mm;
- égaline 3 mm;
- chape 73 mm;
- laine minérale 100 mm;
- radier béton 200 mm.

Le U de ce complexe est de 0,24 W/m²K.



Linoleum 4 mm
Égaline 3 mm
Chape 73 mm
Laine minérale 100 mm
Radier béton 200 mm



2.3 ÉCHELLE 2 : PARTIES

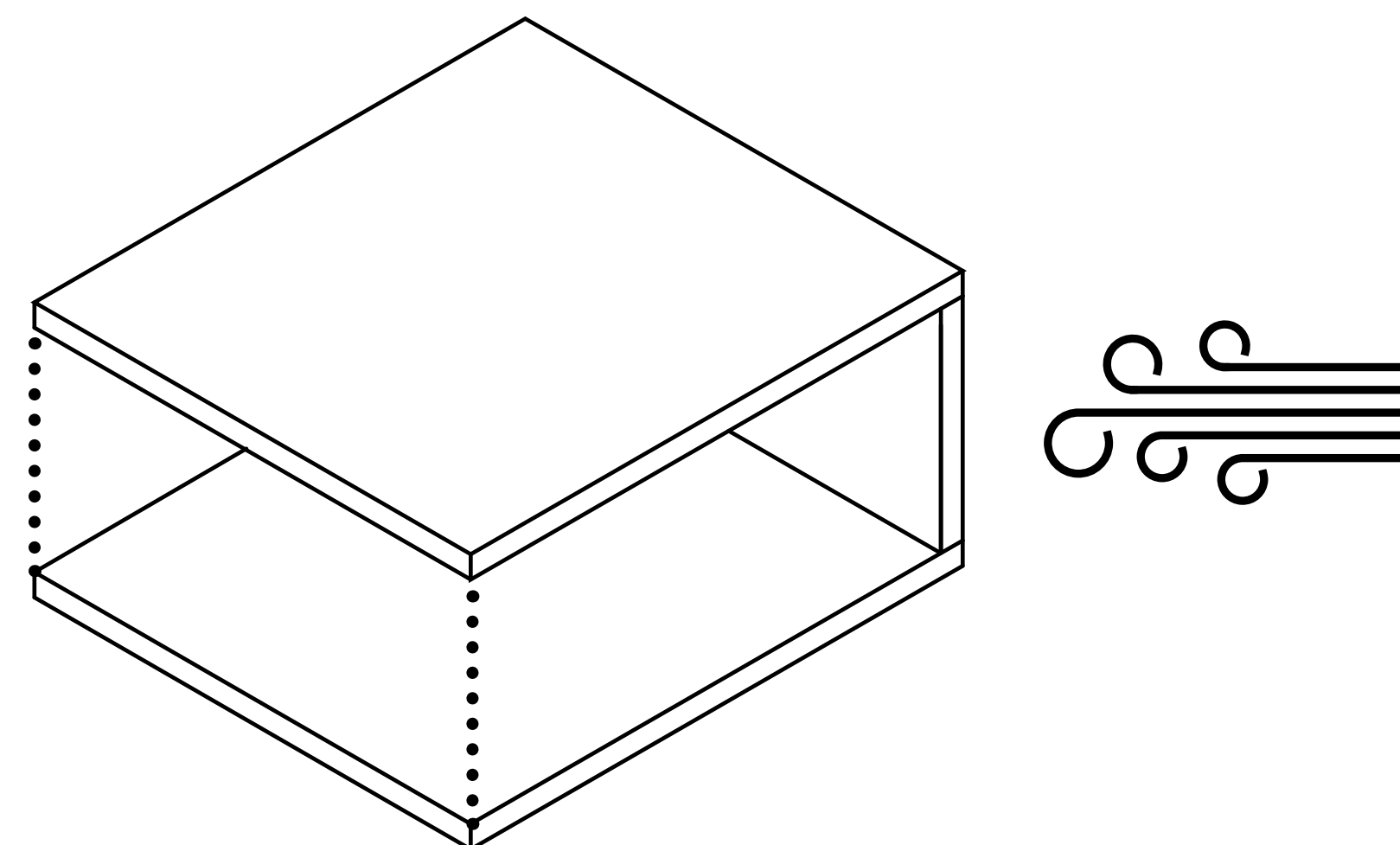
E / ENVELOPPE

II. ÉTANCHÉITÉ À L'AIR

Le système MODUL R propose une étanchéité à l'air conforme au standard passif du taux de renouvellement d'air (n50), soit un taux inférieur ou égal à 0,6 vol/h.

Les détails mis au point pour les façades ont été éprouvés sur un prototype en taille réelle (cf. chapitre « mockup »). La mise en œuvre des châssis et leurs raccords aux éléments structurels de la façade ont été réfléchis avec soin afin d'atteindre une excellente étanchéité à l'air. Les façades forment ainsi un élément unitaire dès la sortie de l'atelier (cf. chapitre « échelle 3 : éléments_ façades »).

Par ailleurs, il est à noter que l'étanchéité à l'air d'un bâtiment va en s'améliorant lorsque le volume de ce dernier augmente.



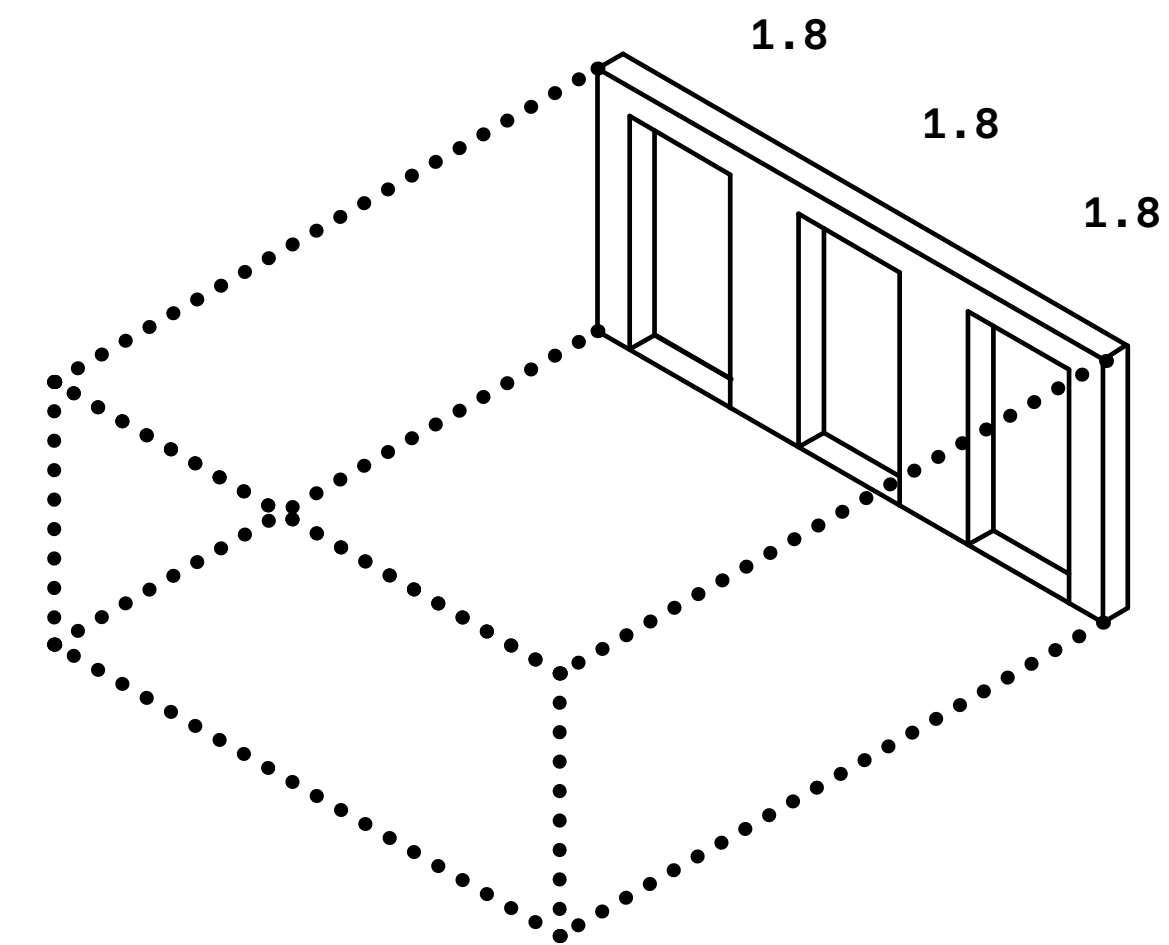
2.3 ÉCHELLE 2 : PARTIES

E / ENVELOPPE

III. PERCEMENTS

Le dessin de l'enveloppe, et le percement des façades en particulier, est le fruit de la recherche d'un optimum entre performances structurelles et thermiques, surchauffe, ergonomie et éclairage naturel.

Cet optimum a été trouvé avec le percement de trois grandes baies par module, de largeur identique par niveau. Elles font 1.80m de large.



2.3 ÉCHELLE 2 : PARTIES

E / ENVELOPPE

III. PERCEMENTS

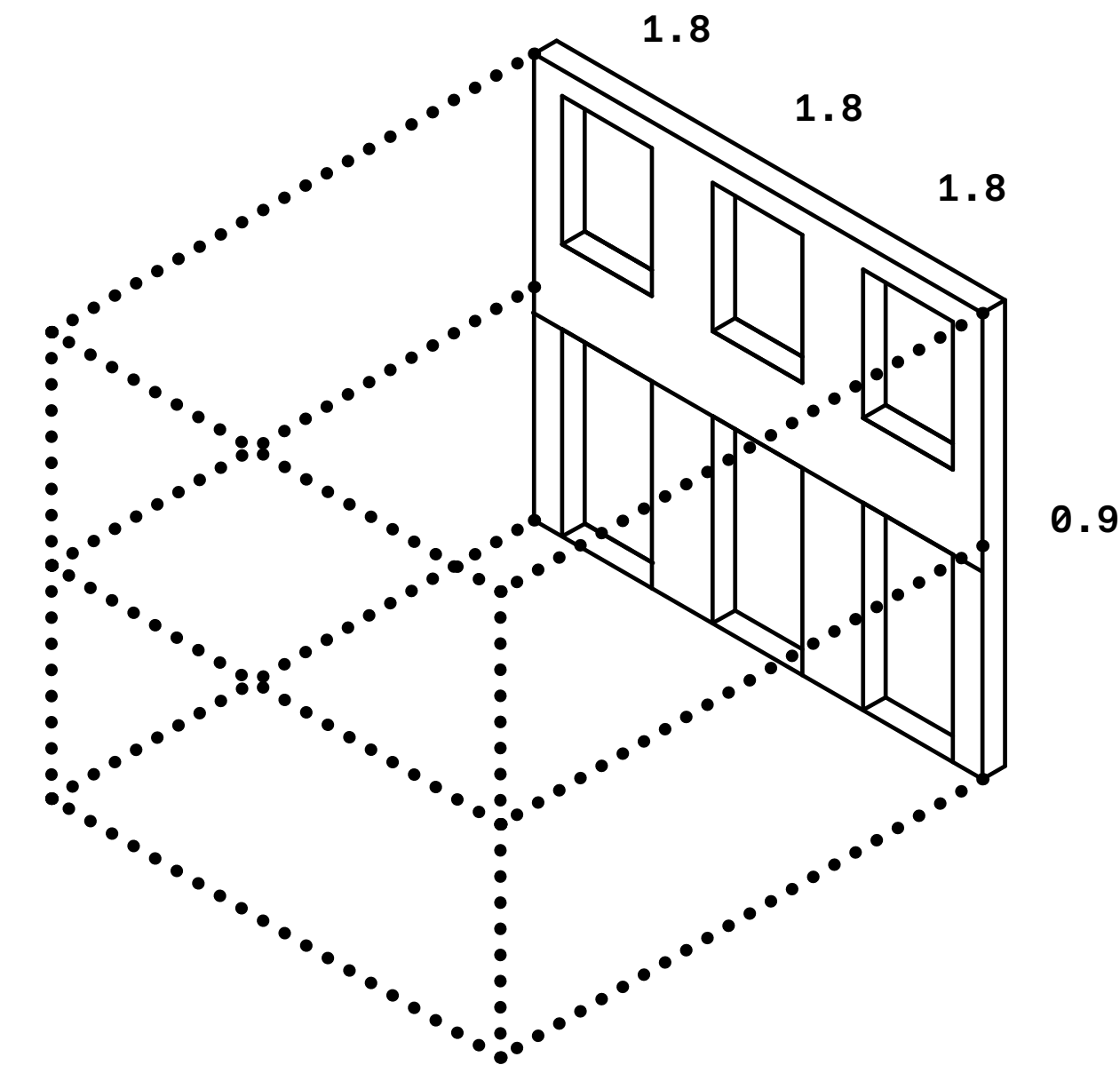
Les façades du rez-de-chaussée et de l'étage se distinguent par des hauteurs de percements différentes :

- 3.07m pour les modules de rez-de-chaussée;
- 2.16m pour les modules de l'étage.

Ces différences de hauteur de baie s'expliquent par des raisons :

- de fluidité (vues et passage physique) avec les espaces extérieurs, par la création de baies qui descendent jusqu'au sol au rez-de-chaussée. Dès lors, les châssis standards qui y sont prévus sont des portes-fenêtres avec un double ouvrant de 80 cm chacun et une imposte vitrée;
- de sécurité, par la création d'une allège pleine de 90 cm au premier étage. À cet étage, les baies sont alors garnies de fenêtres avec un double ouvrant de 80 cm.

Si ces deux solutions sont les plus génériques, il est tout à fait possible, en fonction des besoins spécifiques du projet, d'installer des façades avec allèges au rez-de-chaussée, ou des façades sans allège à l'étage (dans le cas d'un accès vers une terrasse, par exemple).



2.3 ÉCHELLE 2 : PARTIES

E / ENVELOPPE

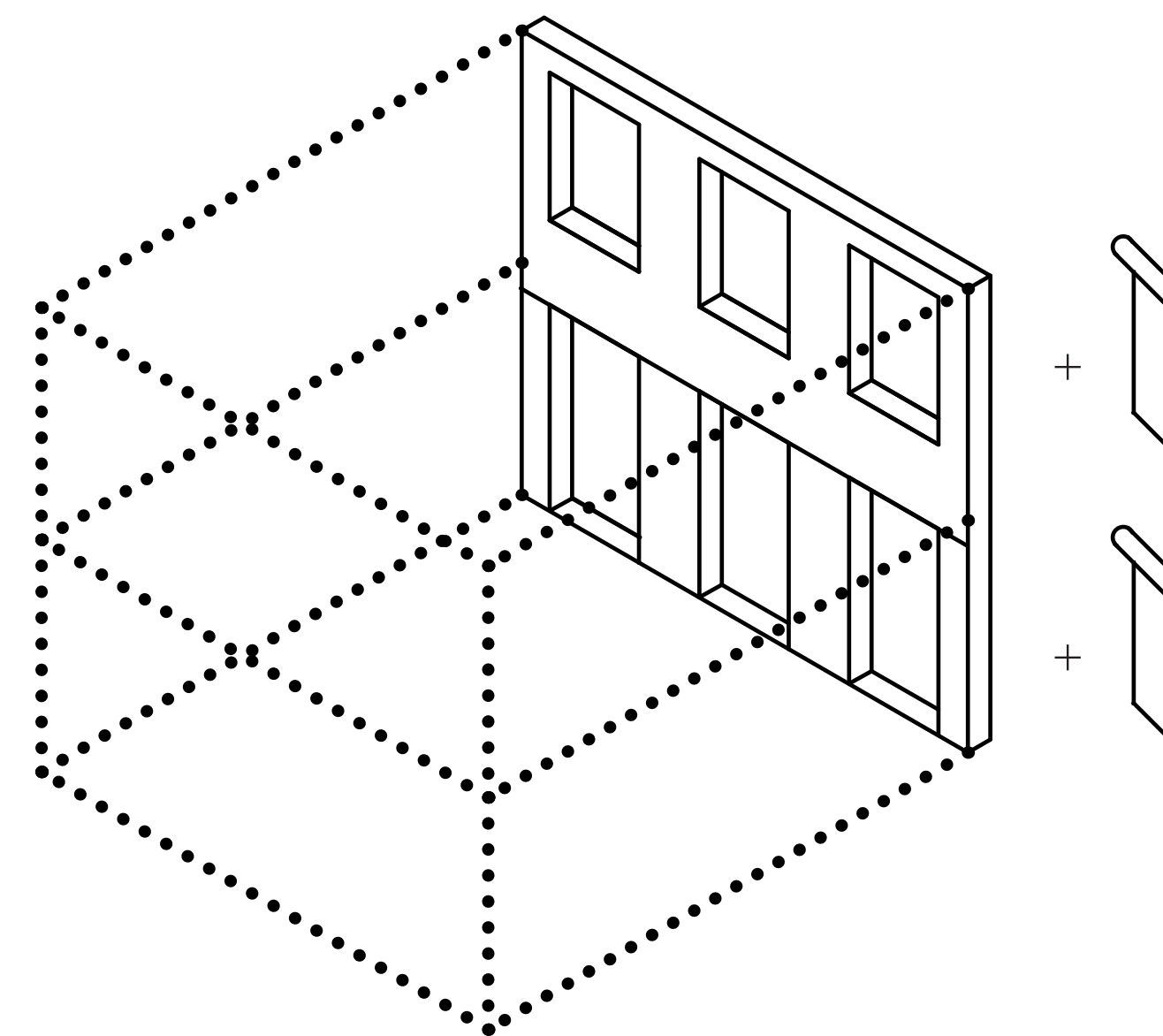
IV. PROTECTIONS SOLAIRES

Garantir le confort thermique des élèves et des enseignants nécessite d'assurer une température suffisante par le chauffage, mais aussi d'éviter les surchauffes. MODULR est sensible à la surchauffe par le fait d'une isolation performante et d'un usage de classe caractérisé par une forte densité d'occupation. Dans le module de classe et de couloir, la faible inertie de la construction bois est aussi un facteur qui augmente le risque de surchauffe.

Pour lutter contre la surchauffe, des stores solaires dérouleurs extérieurs ont été retenus comme la solution la plus optimale pour des raisons de :

- optimisation des coûts d'installation et d'entretien;
- facilité d'adaptation en fonction de l'orientation de la façade ou de son environnement;
- possibilité d'automatisation du système de protection solaire, ce qui ne demande aucune manutention de la part du personnel de l'école.

Pour évaluer le confort thermique dans un module équipé d'un store solaire, des simulations dynamiques ont été réalisées avec le logiciel *DesignBuilder EnergyPlus*. Les objectifs étaient de proposer une solution qui limite les surchauffes et d'évaluer la sensibilité de certains paramètres. Ces évaluations montrent le caractère indispensable des protections solaires pour maintenir des conditions de confort en période chaude. Plusieurs modèles des stores sont proposés en fonction de l'orientation des modules.



2.3 ÉCHELLE 2 : PARTIES

F / ACOUSTIQUE

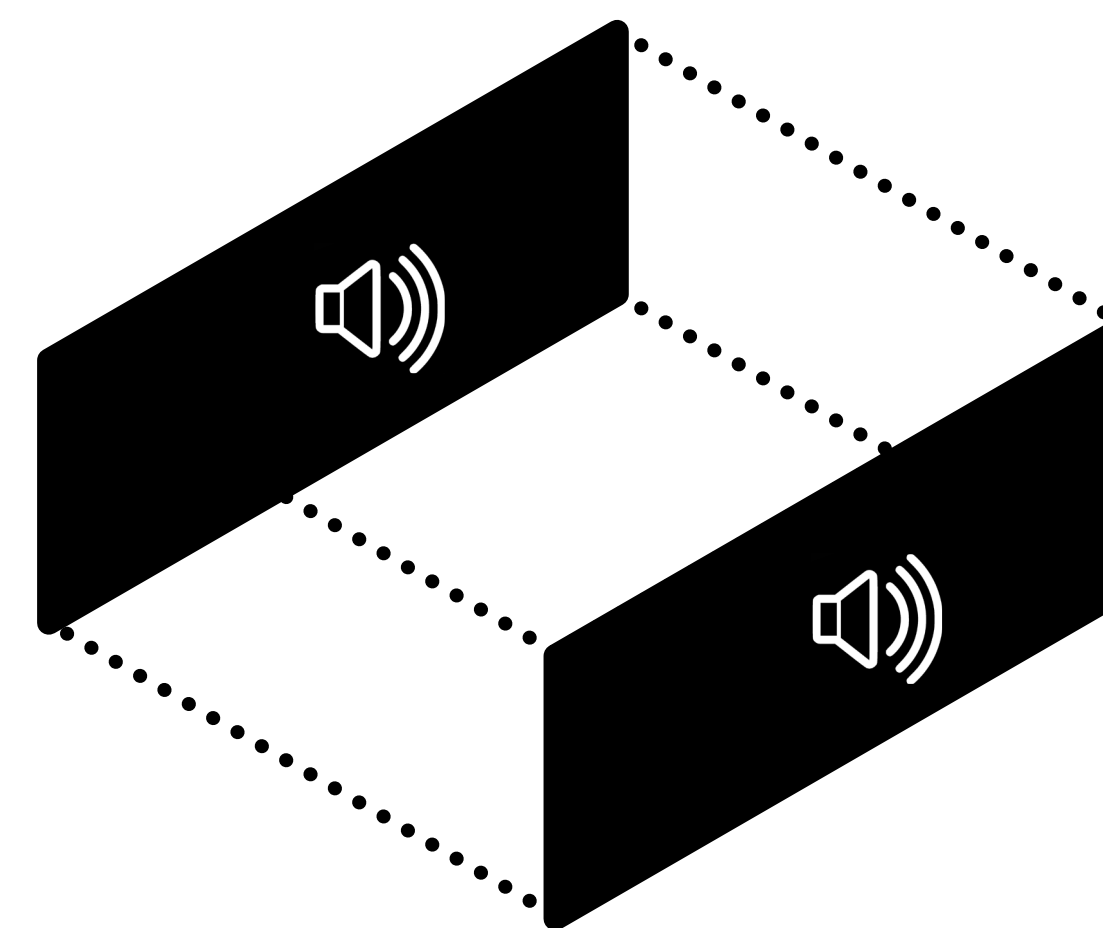
I. JOINTS ACOUSTIQUES

Afin de rester dans le cadre de la norme NBN S01-400-2:2012, et notamment d'assurer l'isolation acoustique entre deux classes successives, le système MODULR prévoit un joint acoustique entre modules (tous les 7.95m), ce qui permet:

- une simplification de la fabrication des éléments constitutifs du module (murs, façades et planchers);
- une continuité des éléments structurels de chaque module;
- une coïncidence entre logique de montage par module et logique acoustique.

La création de classes de surfaces différentes de 60m² en subdivisant le module de base selon les travées de 2.65m n'est pas possible en respectant la norme à la lettre. Néanmoins, la perte au niveau de l'acoustique reste tout à fait acceptable. Il est donc possible de réaliser des classes dont la superficie serait un multiple de 20m² moyennant une petite perte au niveau de l'isolation acoustique entre les locaux.

Le joint acoustique entre modules est matérialisé par un feutre technique de 5mm d'épaisseur.



2.3 ÉCHELLE 2 : PARTIES

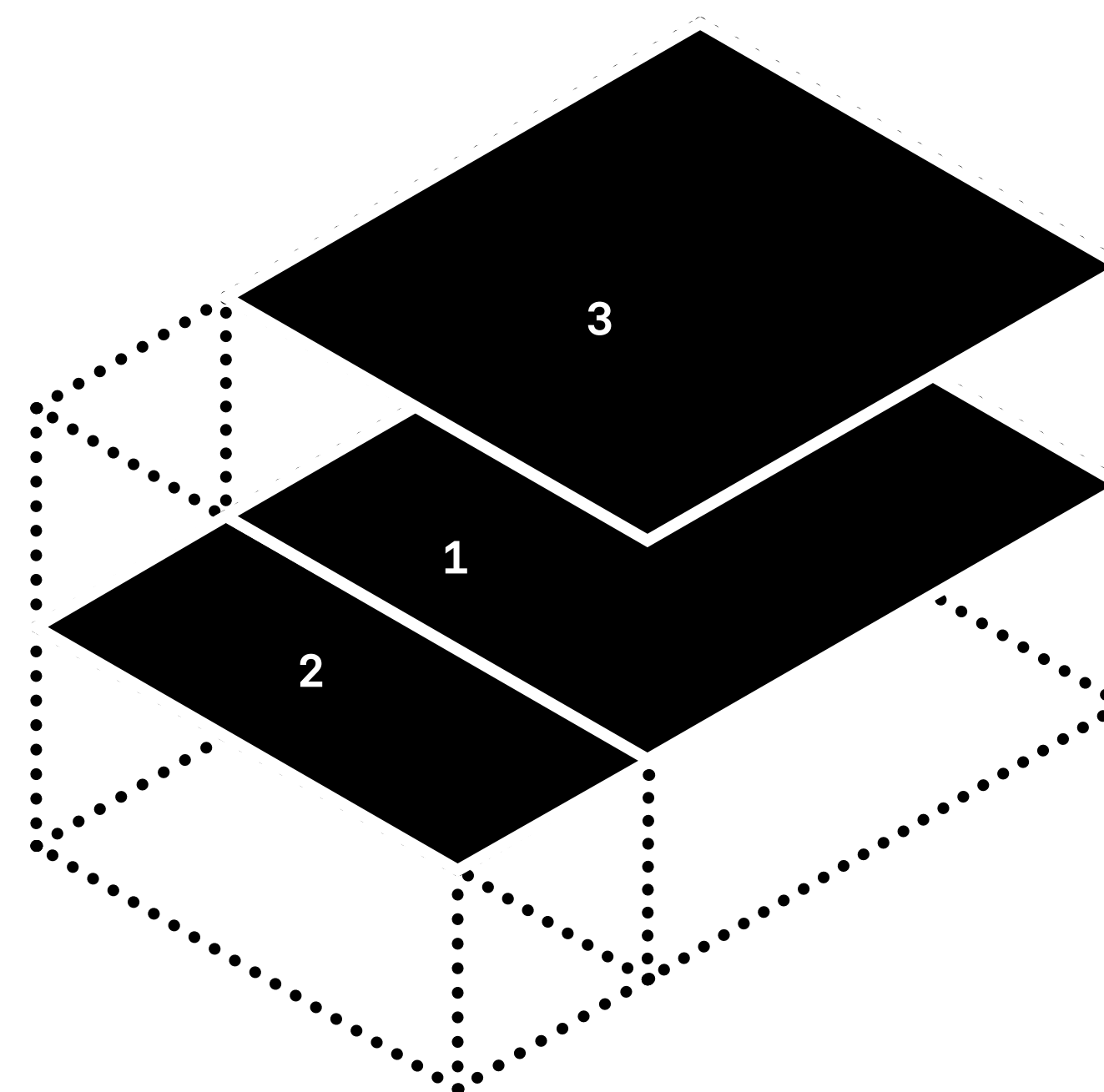
F / ACOUSTIQUE

II. PLANCHERS

Afin de rester dans le cadre de la norme NBN S01-400-2:2012, et notamment d'assurer l'isolation acoustique entre deux modules superposés, le système MODULR propose différents types de dalles :

1. entre deux classes superposées: le sol de la classe supérieure est monté sur des plots acoustiques, permettant d'atteindre le niveau d'isolation prescrit par la norme malgré une construction légère en bois;
2. entre deux couloirs superposés: la dalle est ici réduite à sa plus simple expression structurelle, les contraintes acoustiques n'étant pas déterminantes pour son dimensionnement. Il en résulte que l'isolation acoustique des bruits d'impacts à partir du couloir vers les classes est légèrement en deçà de la norme NBN S01 400 2. Cette disposition qui simplifie la construction du couloir est prise, car l'utilisation simultanée intense d'un couloir et des classes est exceptionnelle. Chaque maître d'ouvrage a le loisir d'améliorer cette performance s'il le juge nécessaire par l'adjonction, sous la dalle de couloir, d'une isolation acoustique complémentaire;
3. entre classe et extérieur: la dalle de toiture est dimensionnée de telle manière qu'elle isole les classes des bruits extérieurs à un niveau conforme à la norme. En outre, les équipements techniques qui sont placés en toitures (cf. paragraphe « HVAC ») seront disposés sur des plots acoustiques.

Outre la norme NBN S01-400-2, les planchers des classes sont conçus avec une fréquence de résonance largement supérieure à la norme NBN B-03-003 (qui préconise de se trouver au-dessus de 3.5Hz pour un plancher ordinaire ou 7Hz pour un hall de sport), pour assurer le confort de marche sur le plancher.



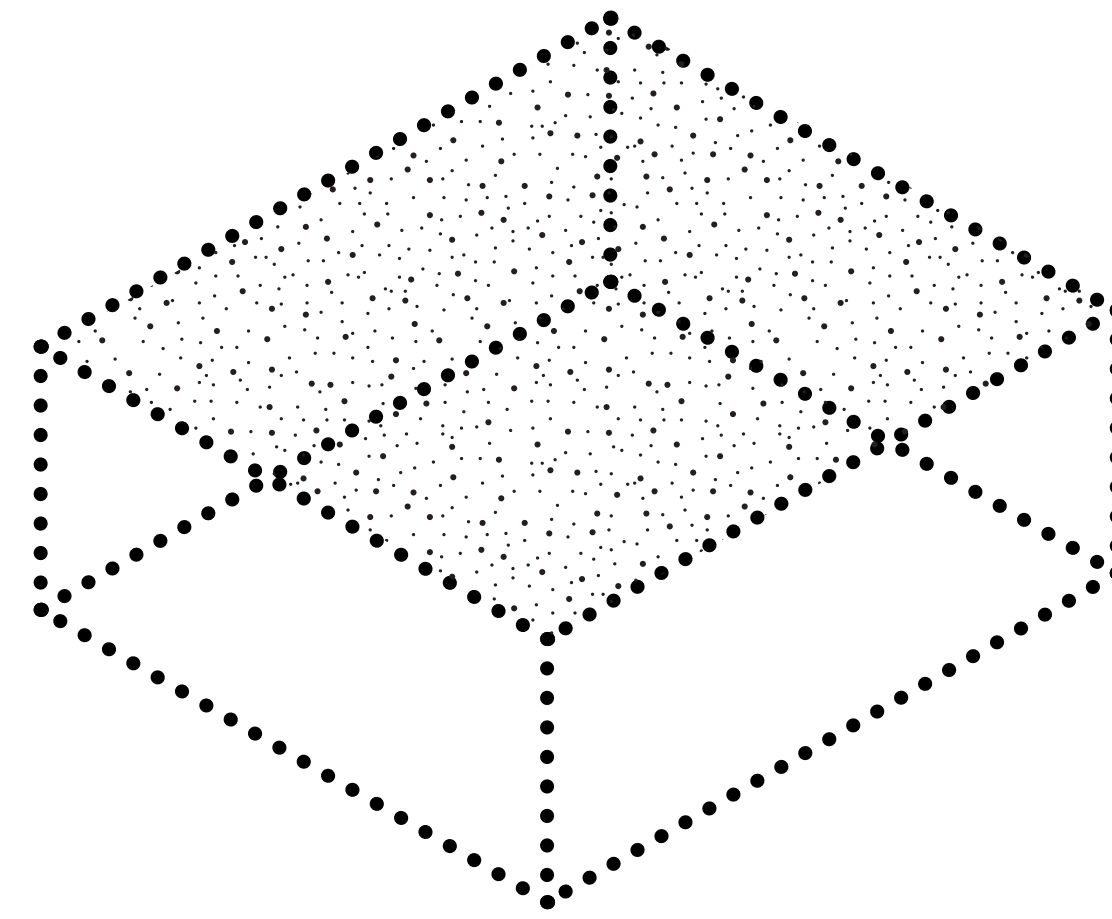
2.3 ÉCHELLE 2 : PARTIES

F / ACOUSTIQUE

III. ABSORPTION ACOUSTIQUE

Outre l'isolation acoustique entre espaces intérieurs et extérieurs, la norme NBN S01-400-2:2012 définit l'absorption sonore dans les locaux visant à éviter les effets de réverbération et d'écho. Le bois n'étant pas un absorbant sonore, il est complété par une surface au plafond dédiée à l'absorption acoustique :

- dans les classes, afin de ne pas encombrer les parois, l'option d'une absorption sonore sur tout le plafond a été retenue pour le système MODULR. Elle est composée d'un plafond en plâtre suspendu et perforé complété par un matelas de laine minérale de 50 mm d'épaisseur;
- dans les couloirs, aucune absorption acoustique n'est prévue dans le système MODULR. Il s'agit en cela d'une dérogation à la norme acoustique parce que le couloir n'est utilisé qu'une petite partie du temps. Le système permet cependant l'ajout d'un absorbant aux plafonds des couloirs si la maîtrise d'ouvrage l'estime nécessaire.



2.3 ÉCHELLE 2 : PARTIES

G / HVAC

I. TYPE DE SYSTÈME

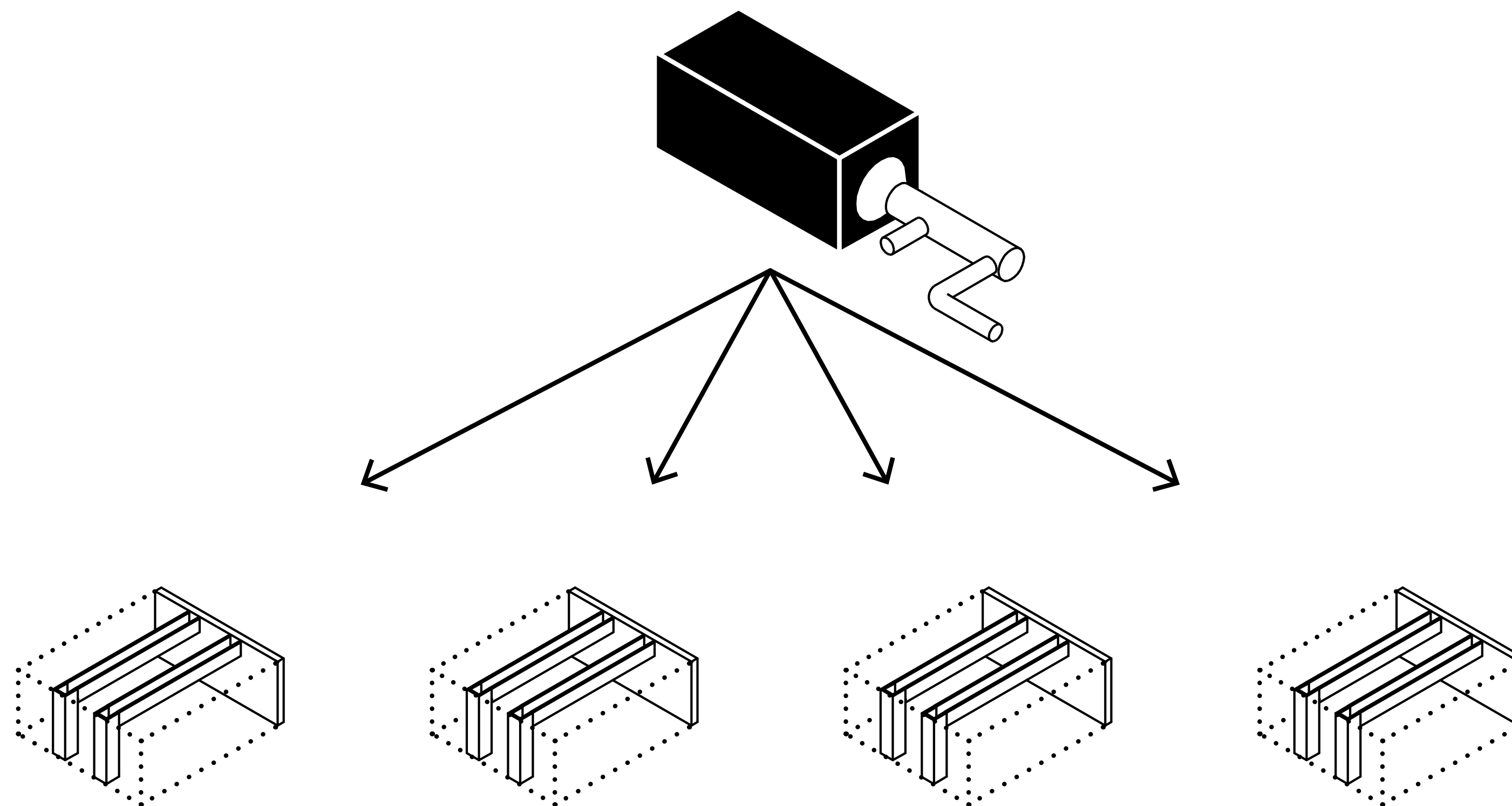
Afin de permettre la plus grande autonomie possible du système de chauffage et de ventilation du système MODULR, l'option retenue est celle d'un équipement semi-centralisé. L'objectif poursuivi ici est de réduire le nombre d'équipements à entretenir tout en maintenant la flexibilité du fonctionnement, une possibilité maximale de préfabrication des modules et une possibilité d'extension par l'ajout de modules. Cette option permet aussi une simplification de la régulation et une diminution substantielle des gaines horizontales qu'il aurait fallu mettre en œuvre dans le cas d'une production centralisée. Le système retenu combine :

- une pompe à chaleur;
- un groupe de ventilation avec récupérateur de chaleur.

L'équipement envisagé fonctionne pour une combinaison allant de 1 à 4 modules. Cette solution présente l'avantage de permettre :

- un système *plug & play* pour la ventilation, la gestion de la batterie de chauffe, la gestion du débit par sonde CO₂ aisé via un contrôleur de local par module classe;
- une régulation du chauffage pour chaque module classe. Cela évite de chauffer inutilement un module inoccupé, même si celui-ci est à un débit réduit.

Pour des raisons d'accessibilité, de remplacement aisé et de rationalisation des espaces (pas d'espaces techniques à l'intérieur du bâtiment), ces équipements sont placés en toiture.



2.3 ÉCHELLE 2 : PARTIES

G / HVAC

II. VENTILATION - PRODUCTION

Un débit de 45 m³/h/pers est nécessaire pour respecter l'arrêté royal de mars 2016 (cf. chapitre « échelle 1: ensembles_performances visées »). Partant de l'occupation maximale d'une classe (29 personnes), le débit maximum par module sera de 1305 m³/h.

Pour atteindre ce débit, un groupe de ventilation d'une puissance de 3.6 kW est placé en toiture. Il est équipé d'un récupérateur de chaleur à haut rendement (minimum 83%) doté d'une régulation automatique. L'échangeur rotatif devra être mis à l'arrêt lorsque la température de reprise sera supérieure à 23°C alors que la température extérieure est inférieure à 23°C (*free cooling*). La vitesse de rotation devra toutefois impérativement être modulante de façon à ne jamais pulser de l'air à une température inférieure à 15°C. Le débit du groupe est modulé suivant un signal 0-10V et commandé dans chaque module par :

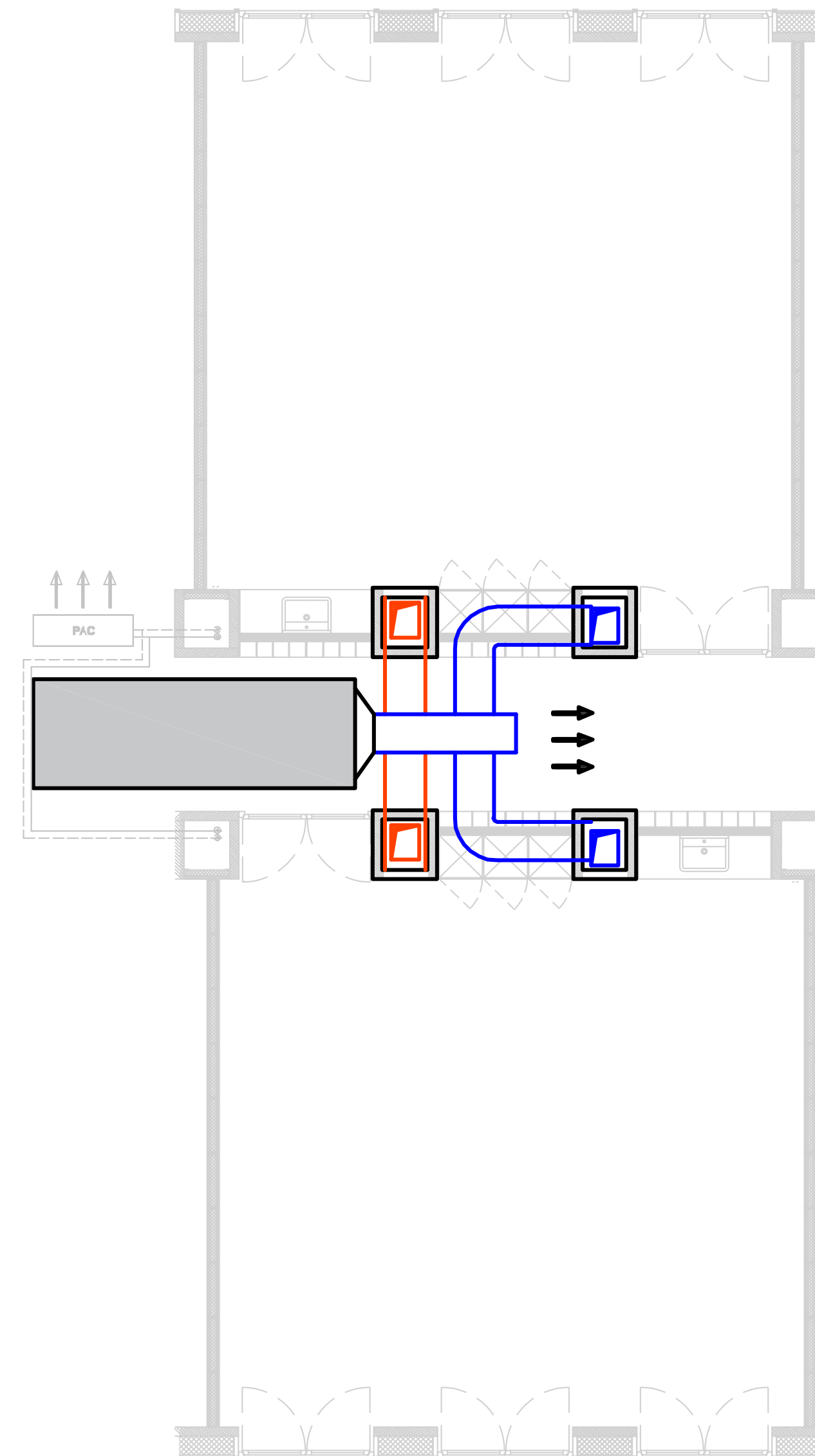
- un détecteur de présence;
- une sonde CO₂ combinée à une sonde de température ambiante.

Les groupes sont équipés des éléments suivants :

- un clapet d'entrée;
- un ventilateur de pulsion et d'extraction;
- un échangeur de chaleur à haut rendement avec *by-pass*;
- des filtres;
- un caisson d'insonorisation.

Les groupes sont installés sur des poutrelles en acier, sur des isolateurs de vibrations à ressort dimensionnés pour éviter toute mise en résonance des ressorts.

**GROUPE DE VENTILATION
3,6 KW (POUR 4 MODULES)**



2.3 ÉCHELLE 2 : PARTIES

G / HVAC

III. VENTILATION - DISTRIBUTION

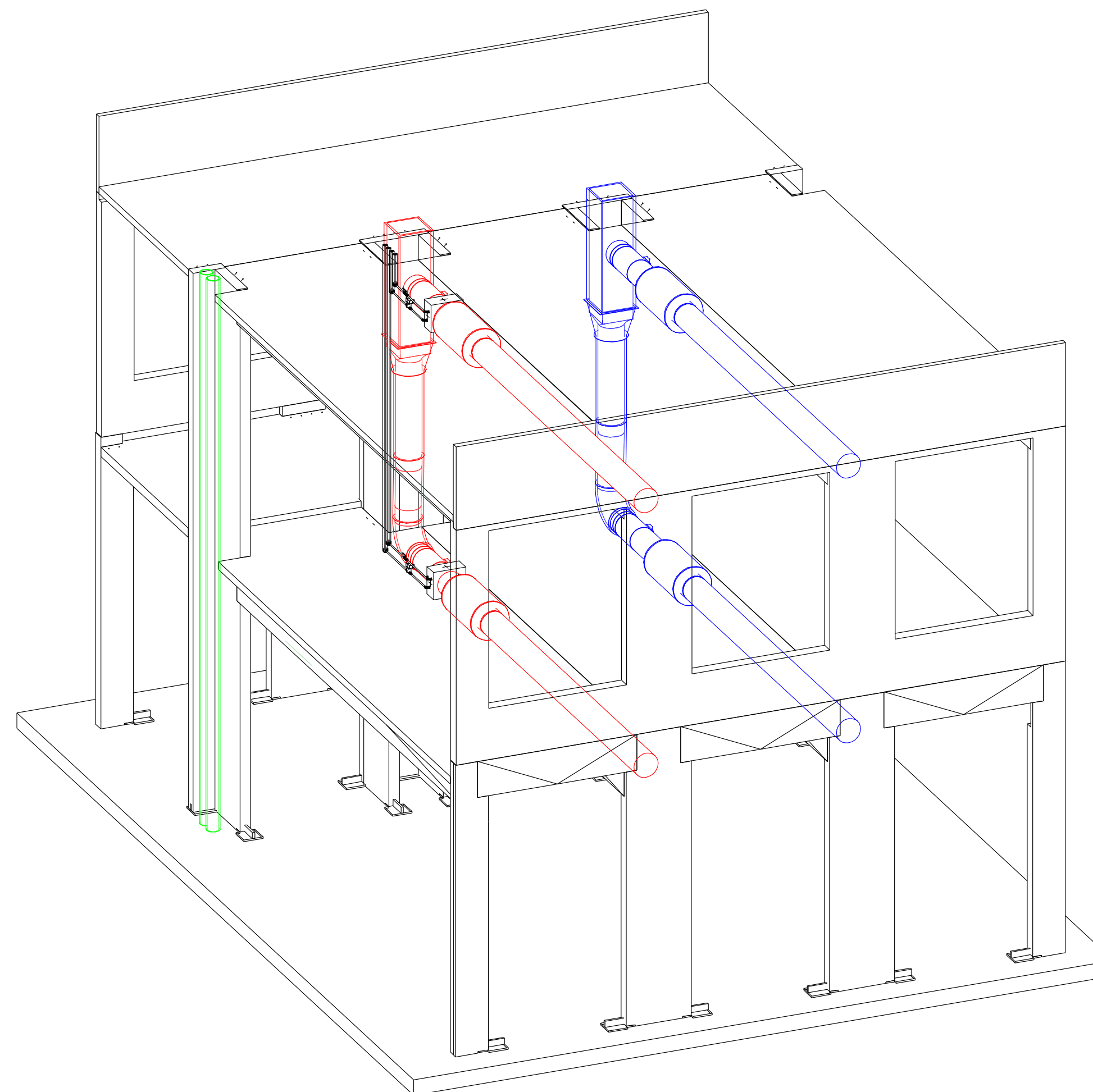
Partant des groupes situés en toiture, les trémies de pulsion et de reprise d'air sont disposées dans les piliers-gaines décrits précédemment (cf. paragraphe « structure »). Il s'agit de deux trémies équipées de gaines en acier galvanisé de 350x350mm calorifugées avec 25mm de mousse de caoutchouc synthétique à cellules fermées.

Chaque module dispose ensuite de gaines circulaires de pulsion et d'extraction de 400 mm de diamètre. Ces gaines sont suspendues au plafond par des colliers (dissociation point dur via une membrane en EPDM) suspendus sur tiges filetées. Elles sont disposées entre les poutres structurelles en LC (cf. paragraphe « structure »). Les gaines sont équipées, avant connexion sur la gaine principale en trémie, des éléments suivants :

- silencieux circulaire;
- batterie terminale (pour la gaine de pulsion);
- boîte VAV.

La pulsion d'air ainsi que la reprise d'air dans les modules de classe sont réalisées par des grilles sur le gainage circulaire apparent.

En complément du groupe de ventilation mécanique, une possibilité de ventilation naturelle par ouverture de fenêtre sera laissée aux occupants, pour faciliter la dispersion d'éventuelles surchauffes.



2.3 ÉCHELLE 2 : PARTIES

G / HVAC

IV. CHAUFFAGE - PRODUCTION

Pour chaque module de classe, les puissances nécessaires pour les besoins de chauffage ont été calculées suivant différentes performances de parois :

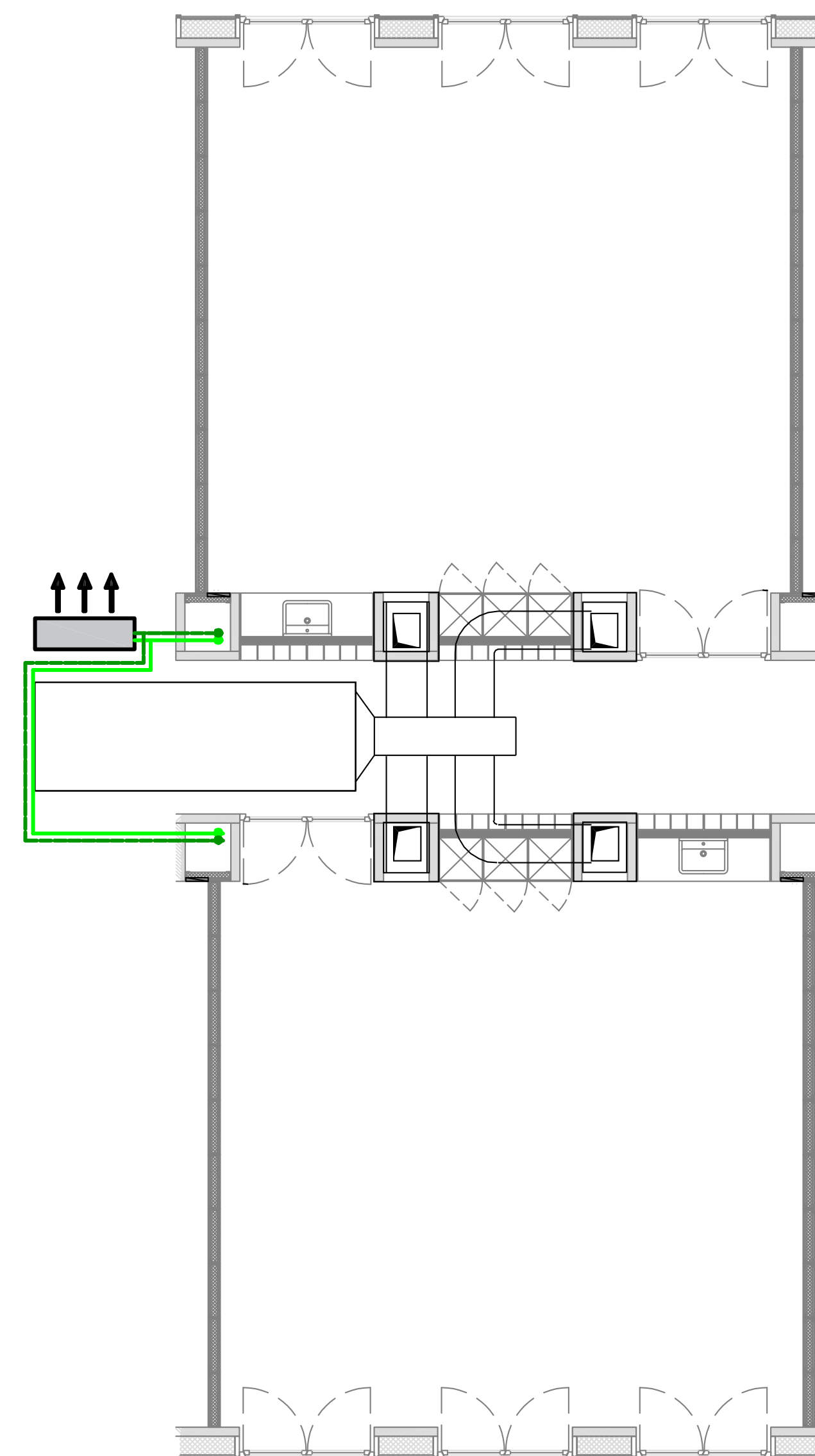
- isolation standard (U des parois $0.24 \text{ W/m}^2\text{K}$ – châssis avec double vitrage) : puissance de déperdition de 2250 W statique & 3200 W par la ventilation, total = 5450 W;
- isolation pré-passif (U des parois $0.10 \text{ W/m}^2\text{K}$ – châssis avec double vitrage) : puissance de déperdition de 1300 W statique & 3200 W par la ventilation, total = 4500 W;
- isolation équivalente au passif (U des parois $0.10 \text{ W/m}^2\text{K}$ – châssis avec triple vitrage, BlowerDoor de 0.6) : puissance de déperdition de 1050 W statique & 3050 W par la ventilation, total = 4100 W.

La production de chaleur nécessaire aux quatre modules est produite par une pompe à chaleur (PAC) air/eau modulante. Elle est implantée à l'extérieur sur la toiture du bâtiment dans le flux d'air rejeté du groupe de ventilation. Un gainage sur mesure placé sur le rejet d'air du groupe de ventilation est mis en œuvre pour garantir la traversée de l'ensemble des ventilateurs de la PAC par l'air rejeté du bâtiment. La PAC a les caractéristiques suivantes :

- puissance de chaud : 20 kW – modulante 40-100 %
- régime de température : $40^\circ\text{C} / 35^\circ\text{C}$;
- pompe de circulation intégrée.

Afin de limiter les courts cycles de la PAC, elle est équipée d'un kit hydraulique comprenant un volume d'eau supérieur à 100 litres ainsi qu'un petit vase d'expansion par circuit.

**POMPE À CHALEUR
20 KW (POUR 4 MODULES)**



2.3 ÉCHELLE 2 : PARTIES

G / HVAC

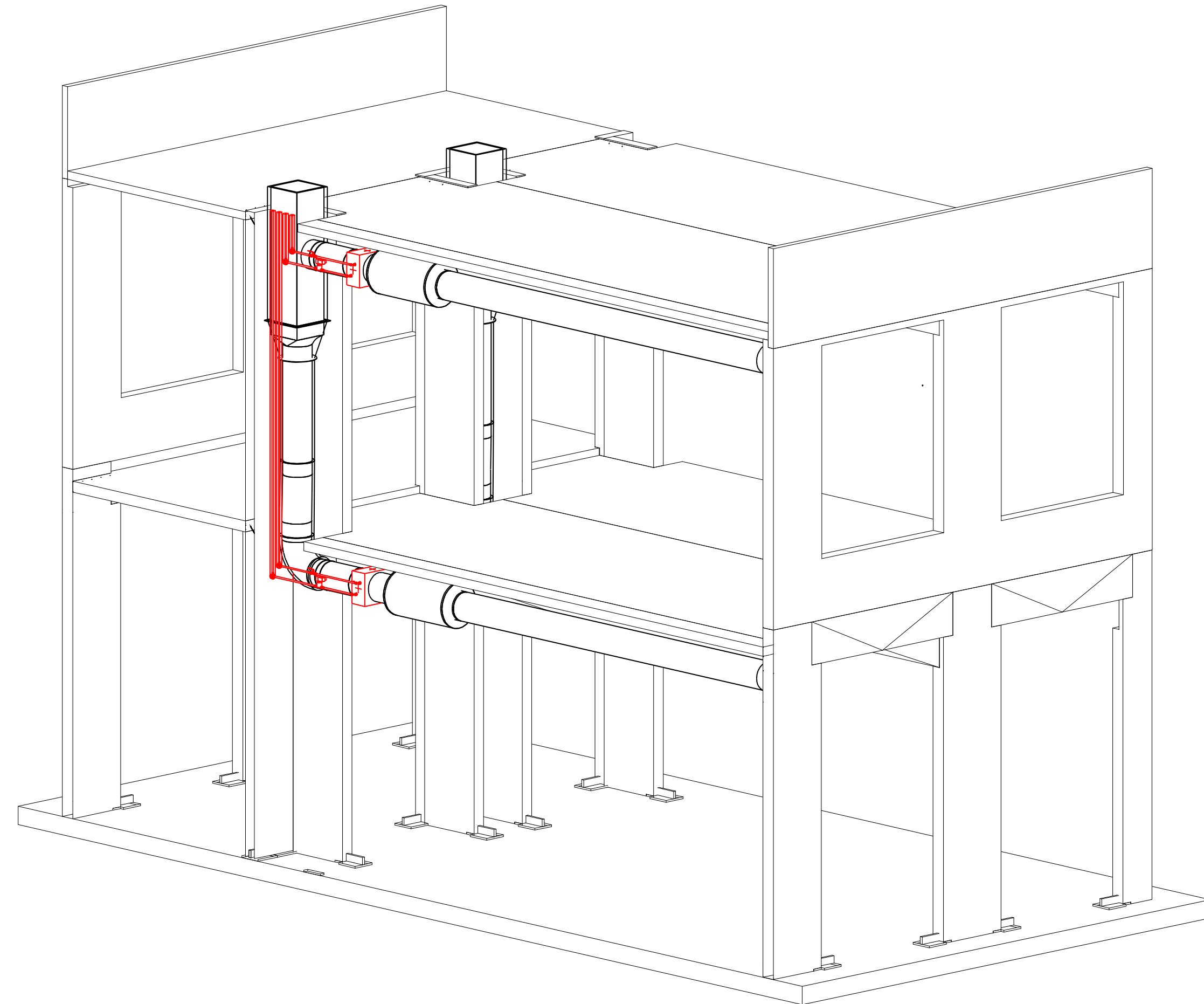
V. CHAUFFAGE - DISTRIBUTION

Le débit de ventilation maximum par module pris en compte pour 29 personnes est de 1305m³/h. Tenant compte des puissances de déperditions reprises ci-dessus, ce débit est suffisant pour chauffer le volume classe par l'apport d'air hygiénique.

Partant des corps des PAC en toiture, deux tuyauteries en PEHD de diamètre DN25 par module sont prévues dans les gaines verticales ménagées par les piliers-gaines. Les tuyauteries y sont :

- rigides et parfaitement rectilignes;
- calorifugées à l'aide d'un calorifuge de 40mm sur tout leur parcours en trémie. En haut de trémie, une vanne d'arrêt est prévue sur le départ d'eau de chauffage et une vanne de réglage sur le retour pour le raccordement de la batterie terminale (DN25).

Pour éviter de surdimensionner l'ensemble des tableaux des classes et ne pouvant connaître les tensions disponibles sur les différents sites d'installation des classes, les alimentations électriques des équipements techniques sont prévues dans les TGBT de chacun des projets.



2.3 ÉCHELLE 2 : PARTIES

G / HVAC

VI. RÉGULATION

Chaque module de classe est équipé d'un contrôleur préprogrammé pouvant gérer les éléments suivants :

- les boîtes VAV de la ventilation;
- la vanne d'alimentation de la batterie de chauffe;
- la reprise des informations du thermostat (gestion horaire, consigne de température, équipé d'une sonde CO₂);
- la détection de présence.

Chaque contrôleur est relié au régulateur central placé dans le groupe de ventilation. Ce régulateur est préprogrammé d'usine pour les fonctions suivantes :

- programme horaire souhaité (7h45-16h00 en standard);
- consignes d'occupation et d'inoccupation (20°C-15°C en standard).

Chacune de ces informations est modifiable via le thermostat du module. Ceci permet une installation fonctionnelle par simple raccordement du contrôleur de classe au régulateur du groupe de ventilation, sans intervention d'un technicien spécialisé.

La gestion du fonctionnement de la PAC est directement liée au groupe de ventilation. La PAC fonctionne lorsque :

- le groupe de ventilation fonctionne;
- la température extérieure est inférieure à une certaine consigne (standard 17°C).

Dans le programme horaire, les locaux sont considérés comme occupés. Le groupe de ventilation se met en route à un débit défini par les différents contrôleurs de classes.

Le débit de ventilation minimum par classe est de 30% du débit nominal (1305m³/h). Le débit varie en fonction de deux informations :

- le taux de CO₂ (débit minimum si le taux est inférieur à 400 ppm et débit de 100% si le taux dépasse 800 ppm, variation linéaire entre ces deux consignes [signal 0-10V]);
- la température mesurée: si la température mesurée est inférieure à la température de consigne (20°C en standard), le débit va passer à 100% pour atteindre la consigne de température.

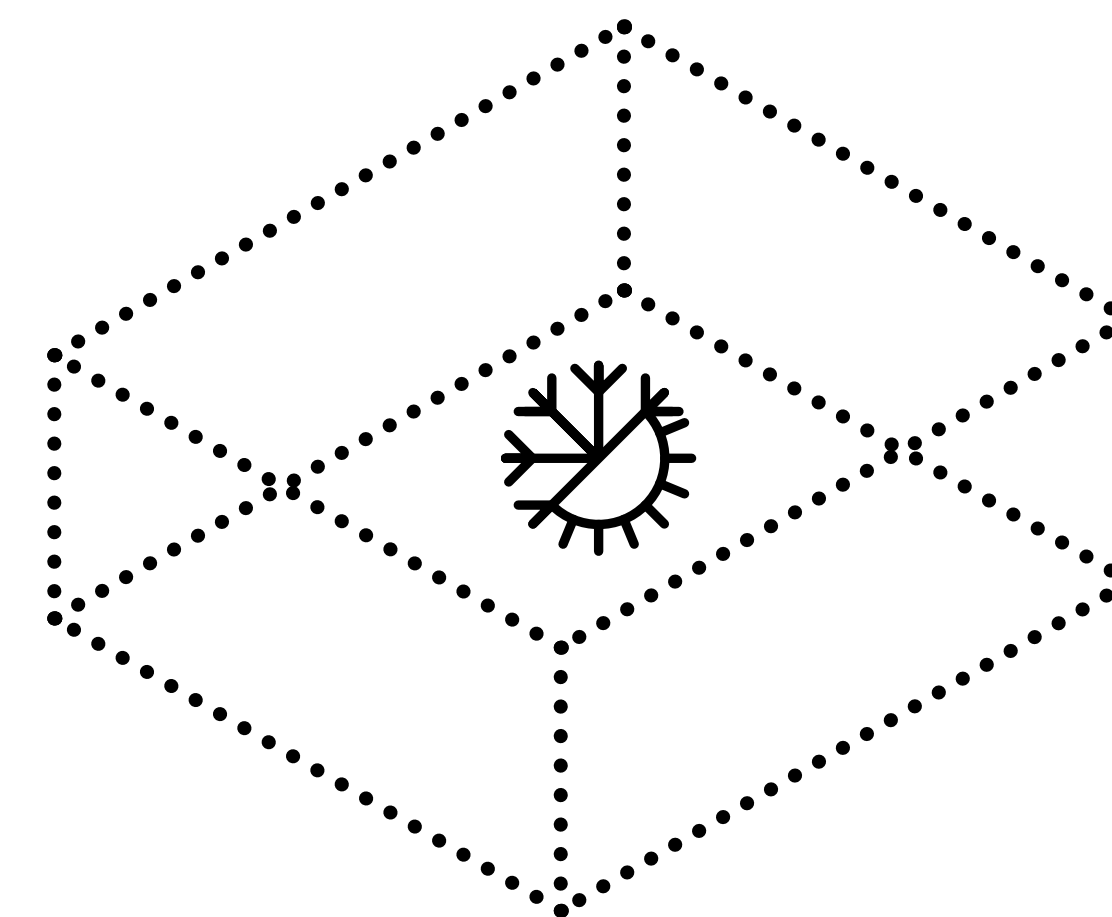
La gestion de l'ouverture de la vanne d'alimentation de la batterie terminale est définie suivant un calcul PID (écart entre la température mesurée et la consigne à atteindre).

En dehors du programme horaire, le groupe de ventilation et la pompe à chaleur sont à l'arrêt.

Lorsque le détecteur de présence s'enclenche (par exemple, cours du soir ou activité hors programme horaire), le groupe de ventilation et la pompe à chaleur dédiés à la classe concernée vont passer en mode « occupation ».

Si, pendant 15 minutes, le détecteur de présence ne détecte plus personne, l'installation se met à nouveau à l'arrêt jusqu'à la reprise du programme horaire.

Si la température descend en dessous de la consigne d'inoccupation (15°C en standard), le groupe de ventilation et la pompe à chaleur dédiés à la classe concernée vont passer en mode « occupation » pour remonter la température du local à 17°C.



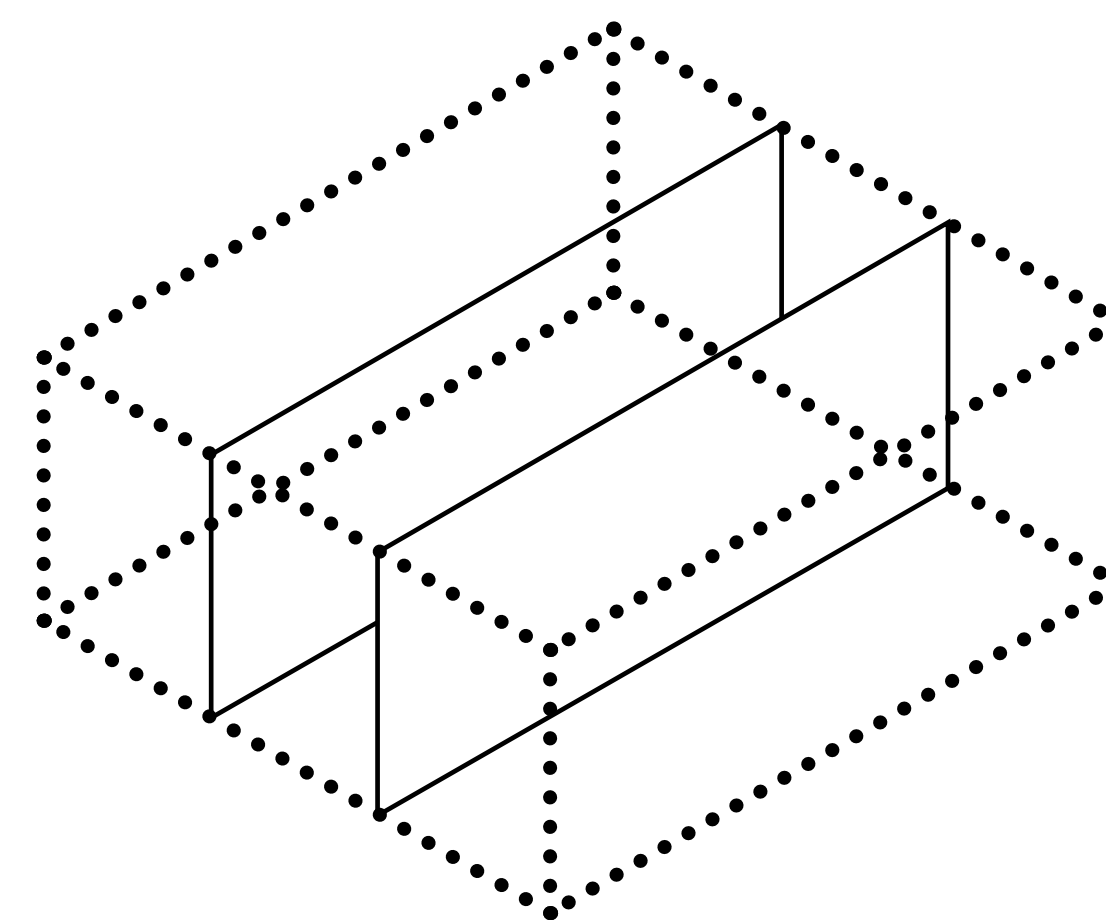
2.3 ÉCHELLE 2 : PARTIES

H / PREMIER ÉQUIPEMENT

I. CLOISONS

Dans le système MODUL R, seules les façades extérieures et intérieures sont porteuses (cf. paragraphe « structure »). Dès lors, le cloisonnement entre deux modules successifs ou la subdivision interne d'un module se fait avec des parois légères. Afin d'en limiter les coûts et de permettre une mise en place aisée par des entreprises locales sans spécialisation particulière, ces cloisons ont été imaginées en plaques de plâtre. En fonction des désirs de la maîtrise d'ouvrage, elles pourraient être remplacées par des cloisons en finition bois peintes en blanc qui seraient plus robustes à l'usage.

Les cloisons sont facilement démontables et ajustables sans modification structurelle. Elles contiennent l'installation électrique propre aux locaux de l'école.



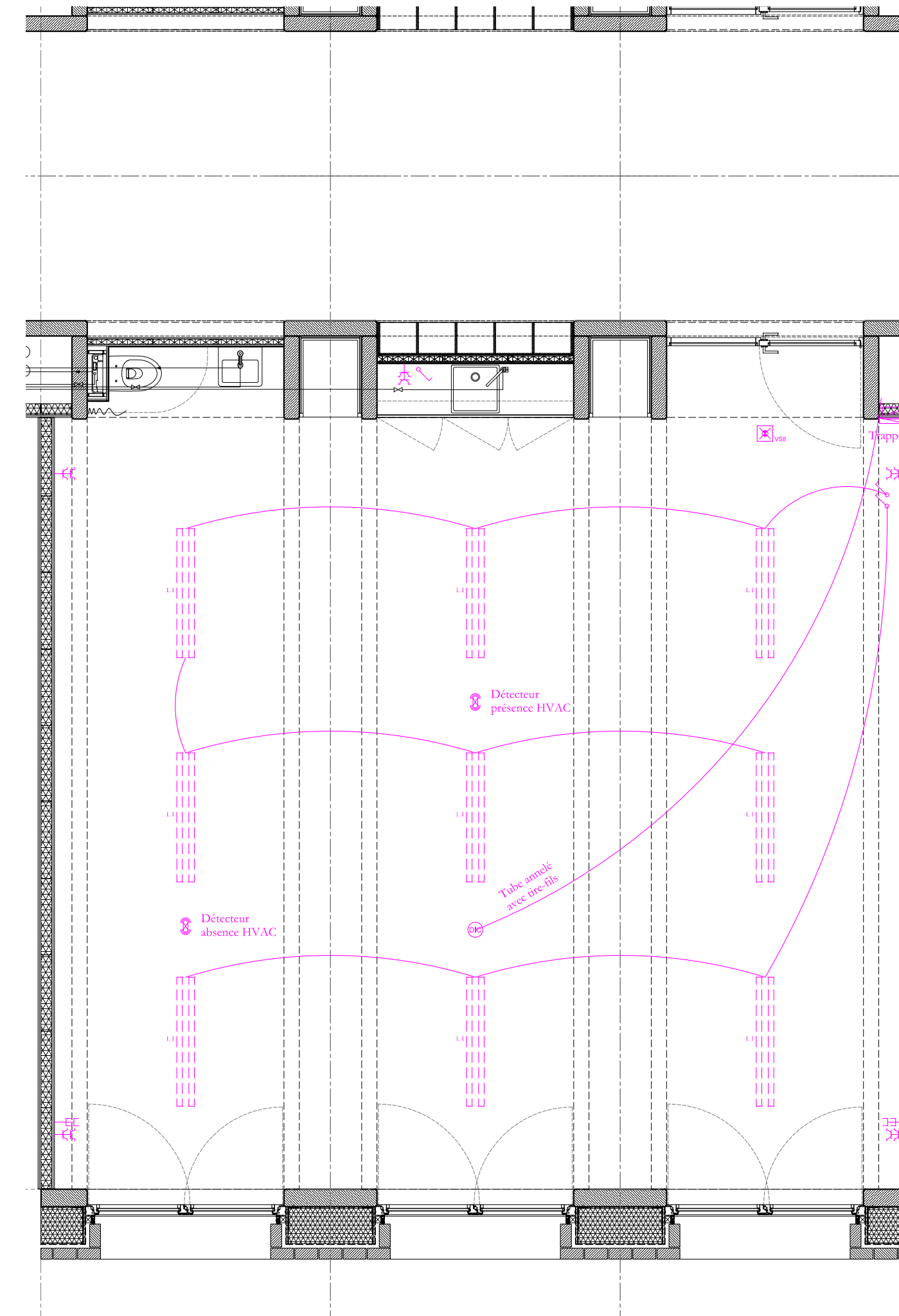
2.3 ÉCHELLE 2 : PARTIES

H / PREMIER ÉQUIPEMENT

II. ÉLECTRICITÉ - MODULE CLASSE

Au niveau de l'électricité, chaque module de classe du système MODUL R prévoit :

- un tableautin équipé d'un différentiel de tête (30mA vu la présence d'enfants) lié à un disjoncteur 25A. Pour limiter au maximum les interventions dans le tableau sur chantier, les prises et éclairages sont connectés sur des boîtes de raccordement rapide situées à proximité du tableautin. L'alimentation du tableautin se fait via le couloir;
- neuf appareils d'éclairage alimentés par deux sous-circuits :
 - un circuit pour les luminaires côté façade;
 - un circuit pour les autres luminaires;
 - un détecteur de présence est prévu sur ce circuit pour s'assurer que l'éclairage se coupe lors de l'inoccupation des locaux;
- l'ensemble des interrupteurs et détecteurs de présence de type apparent. Un appareil de secours lié à l'alimentation du tableautin de chaque classe est placé au-dessus de la porte de la classe;
- une connexion des luminaires, détecteurs, prises et interrupteurs à un boîtier à raccord rapide (type Wieland) placé à proximité du tableautin. Ceux-ci seront alimentés par un circuit 16A. Proche du tableautin est également prévu un mini patch-panel sur lequel sont connectées quatre prises data prévues dans le module;
- un détecteur incendie par classe est prévu. Dans la mise en place du projet général d'école, il sera lié sur une boucle dédiée à l'étage du projet.



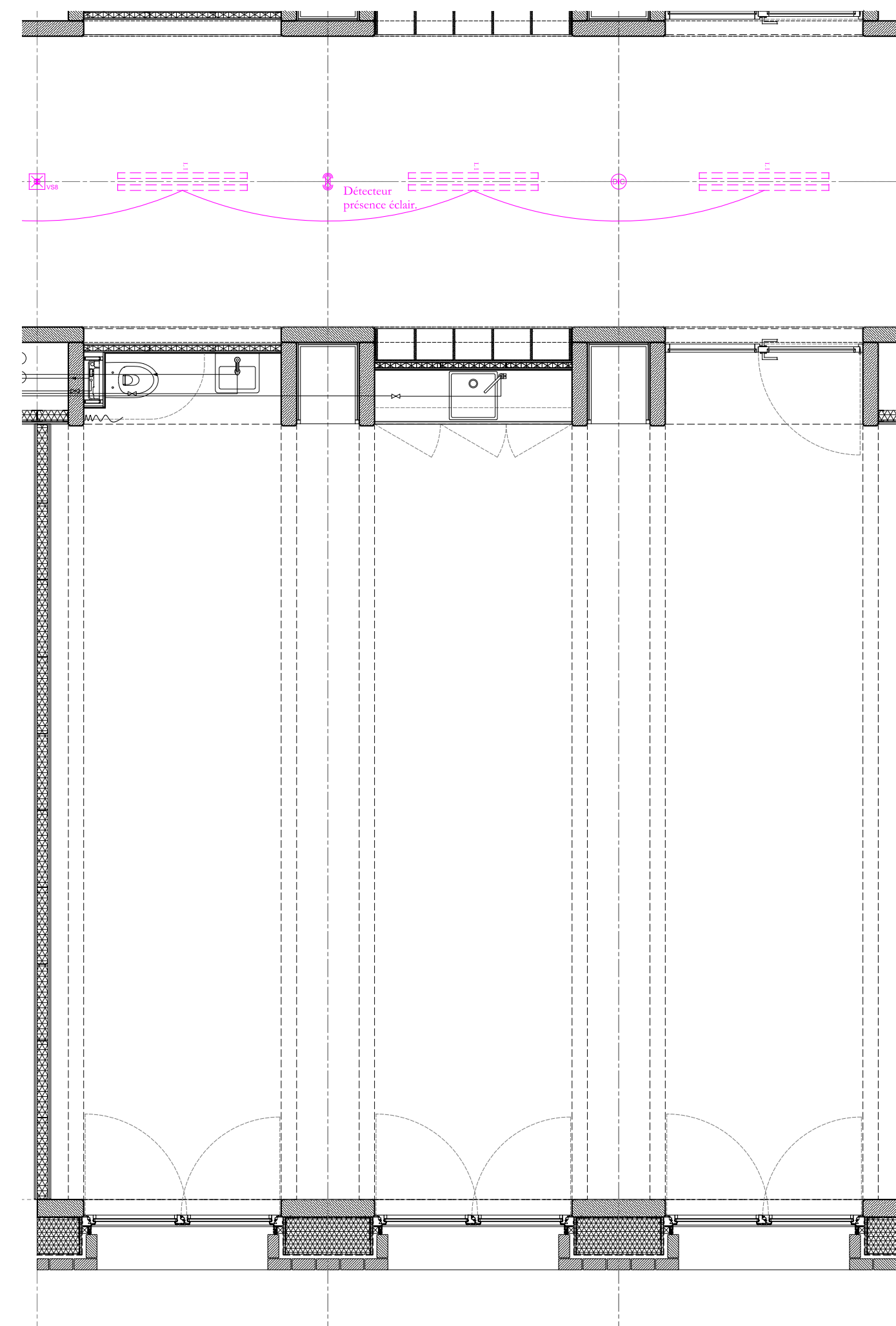
2.3 ÉCHELLE 2: PARTIES

H / PREMIER ÉQUIPEMENT

III. ÉLECTRICITÉ - MODULE COULOIR

Au niveau de l'électricité, chaque module de couloir du système MODULR prévoit:

- trois appareils d'éclairage connectés sur un boîtier à raccord rapide;
- un détecteur de présence prévu sur ce boîtier;
- un appareil de secours lié sur le câblage des trois luminaires;
- une connexion des luminaires et du détecteur à un boîtier à raccord rapide (type Wieland) placé à la limite du module couloir. Celui-ci est alimenté par un circuit 16A (fourni par une alimentation spécifique);
- un détecteur incendie. Dans la mise en place du projet général d'école, il sera lié sur une boucle dédiée à l'étage du projet.



2.3 ÉCHELLE 2 : PARTIES

H / PREMIER ÉQUIPEMENT

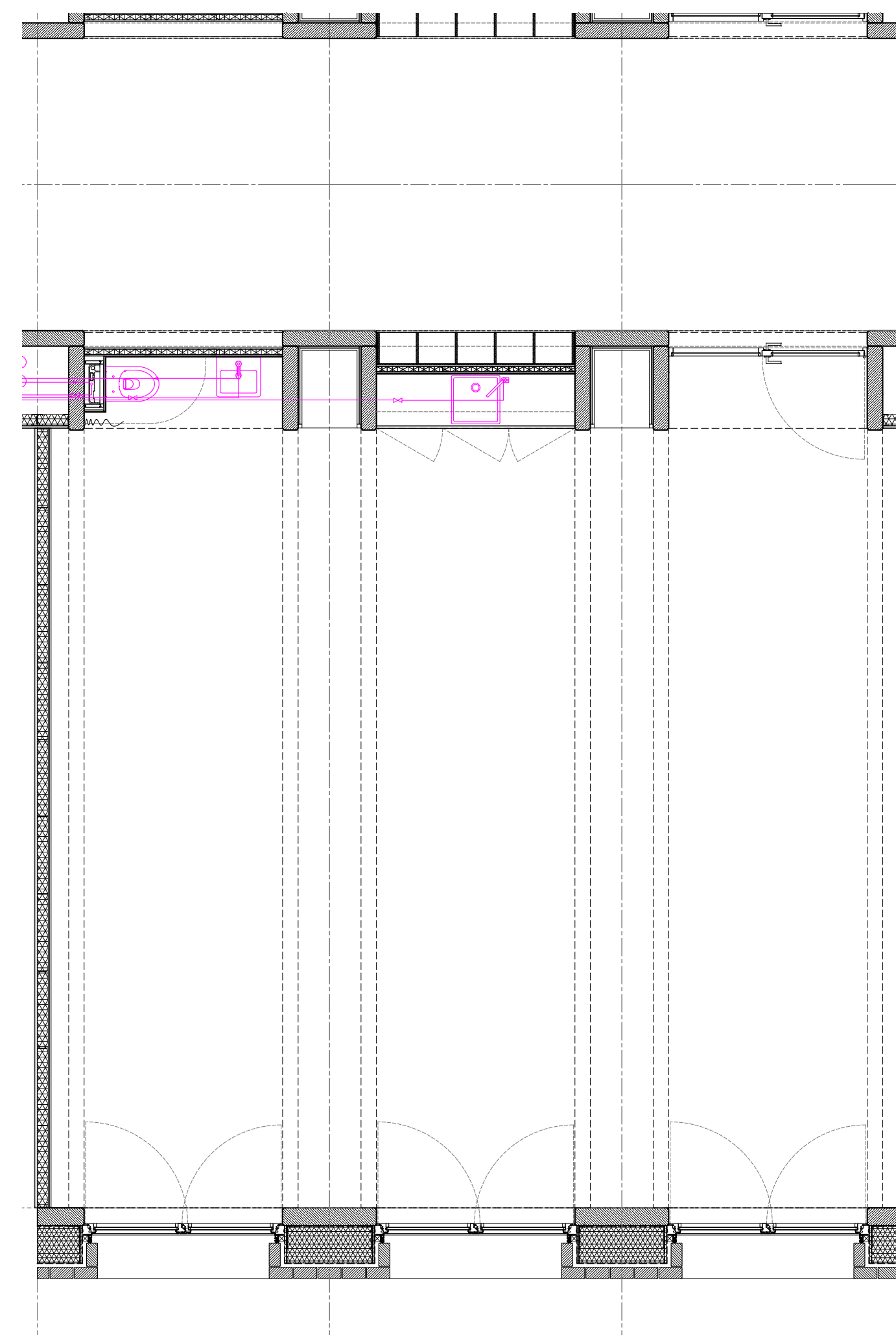
IV. SANITAIRE

Le système MODUL R est prévu pour permettre l'intégration aisée des équipements sanitaires dans le bâtiment. Les alimentations et les évacuations (eau de pluie et eaux grises) sont intégrées dans les piliers-gaines.

Comme précisé plus haut (cf. chapitre « structure_sol »), les impétrants doivent être intégrés avant la mise en place des modules préfabriqués. Ils sont incorporés dans les dalles de sol.

Les appareils sanitaires sont ensuite imaginés de deux manières distinctes :

- soit comme du mobilier intégré entre les piliers-gaines. L'espace entre deux piliers-gaines successifs est dimensionné de manière telle qu'il permet d'y intégrer, au choix : un meuble avec un évier, un WC pour les classes de maternelles, un meuble de cuisine, etc. (cf. chapitre « échelle 3 : éléments_mobilier »);
- soit comme des pièces sanitaires spécifiques (p. ex., blocs toilettes). Dans ce cas, il s'agit d'aménagements spécifiques mis en place après le montage des modules préfabriqués. Les alimentations et les évacuations doivent néanmoins être prévues préalablement dans les piliers-gaines lors de la composition de l'école. Des plans types pour les blocs sanitaires sont présentés dans le volume I « composition » du vade-mecum.



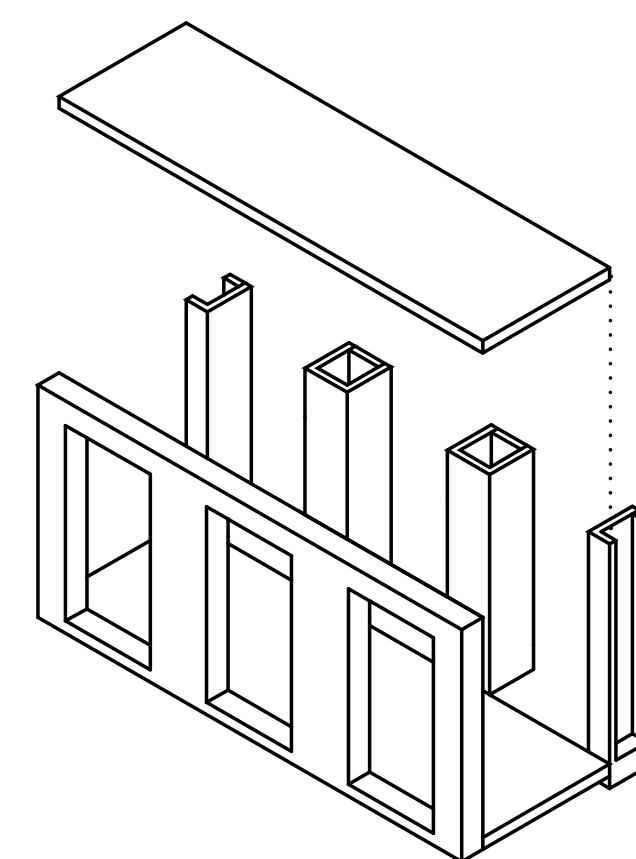
2.3 ÉCHELLE 2 : PARTIES

I / RÉSULTAT

L'ensemble de ces considérations spatiales, structurelles, thermiques, d'éclairage naturel, acoustiques, de ventilation ou encore d'équipement fixe ont convergé pour donner forme à la fois :

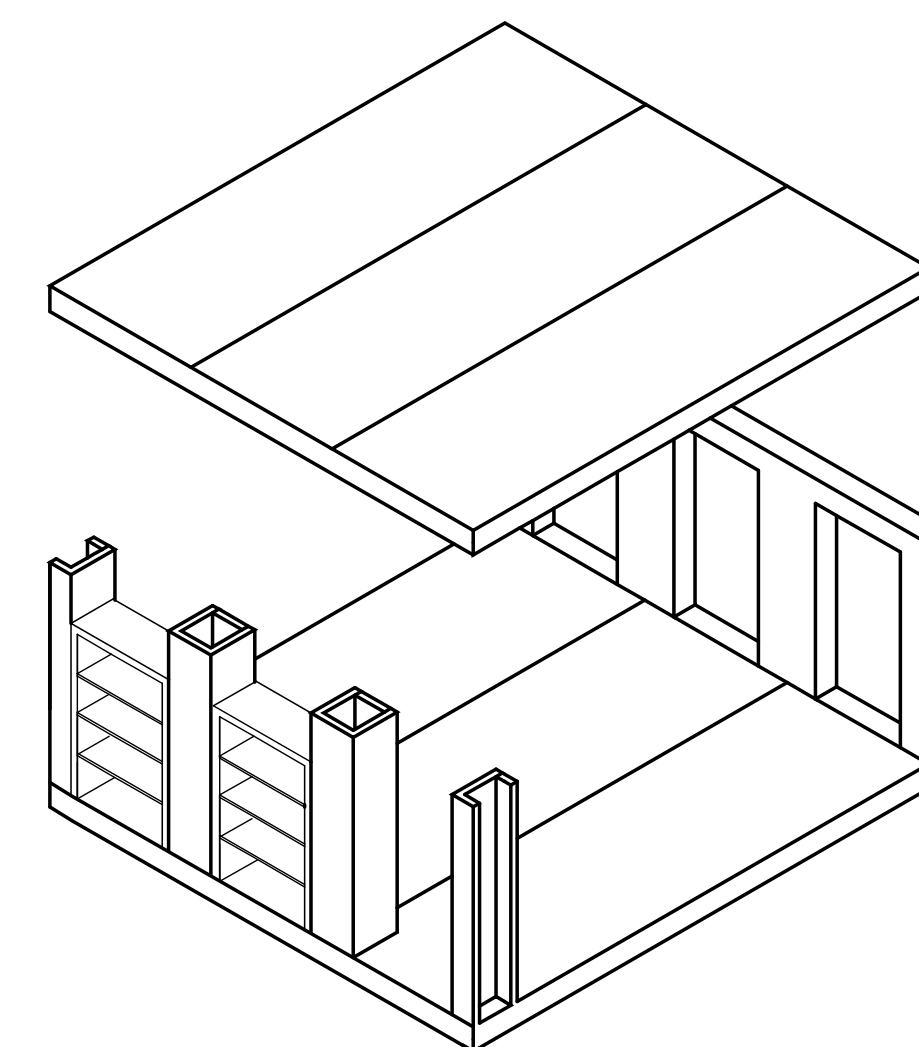
- au module de classe;
- au module de couloir.

Ces deux modules et leurs variations en fonction du niveau auquel ils sont positionnés forment la base du système MODUL R. C'est à partir d'eux que la composition d'écoles avec le système MODUL R peut être imaginée (cf. volume I « composition »).



MODULE DE COULOIR

+



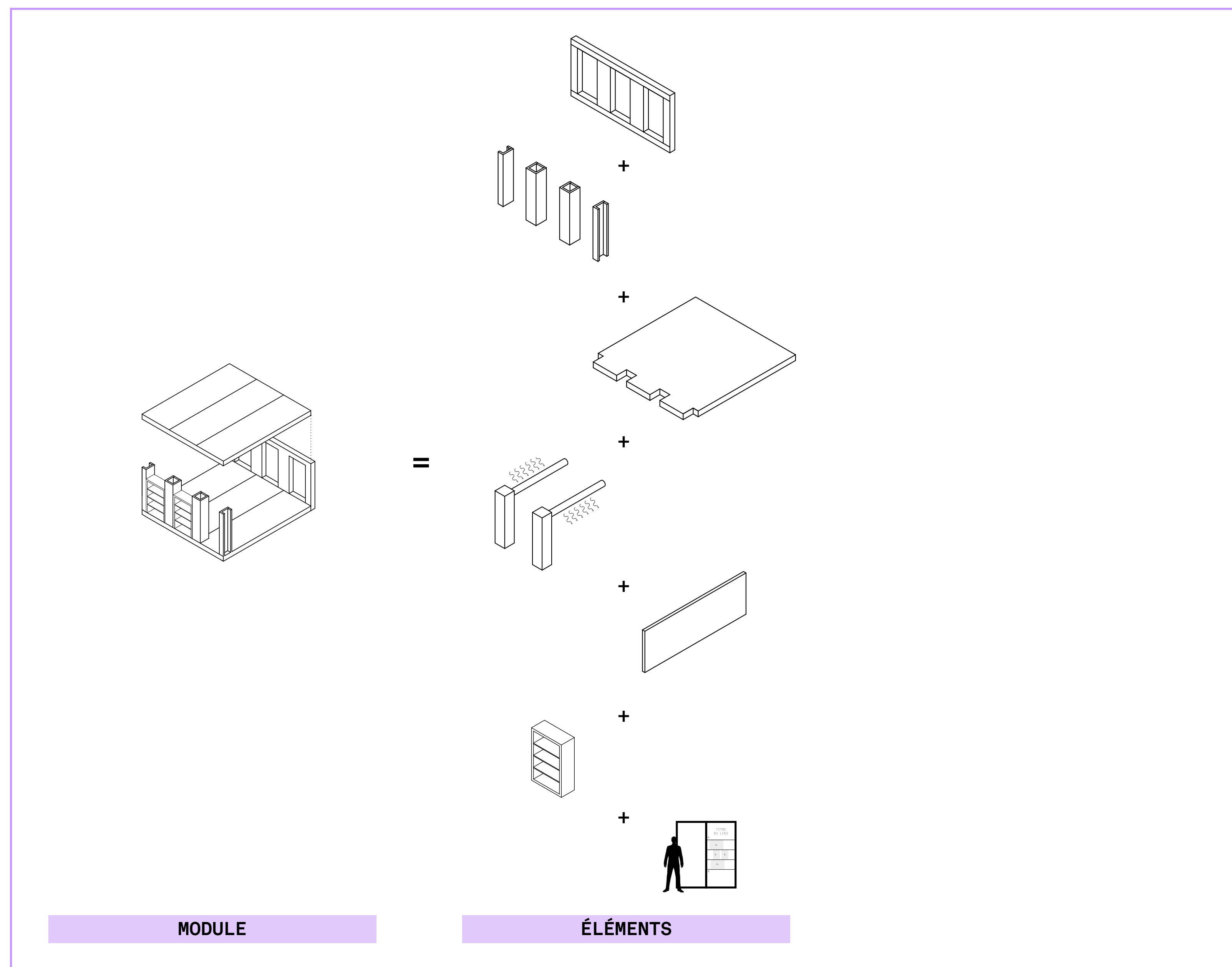
MODULE DE CLASSE

2.4 ÉCHELLE 3 : ÉLÉMENTS

La troisième et dernière échelle de travail est celle des éléments qui constituent les modules du système MODULR. À cette échelle, les modules sont composés à partir d'une série d'éléments :

1. les façades;
2. les piliers-gaines;
3. les dalles;
4. les éléments de HVAC;
5. les cloisons intérieures;
6. le mobilier intégré;
7. la signalétique.

Chacun de ces éléments a été optimisé pour répondre au mieux à des performances structurelles, thermiques, de préfabrication et d'assemblage, de confort intérieur, etc., pour produire, au final, des espaces architecturaux de grande qualité.



2.4 ÉCHELLE 3 : ÉLÉMENTS

A / FAÇADES

I. ÉLÉMENTS DE FAÇADES

Comme précisé dans les caractéristiques du module (cf. chapitre « échelle 2: parties_enveloppe »), deux types de façades sont développés dans le système MODULR en fonction de leur position :

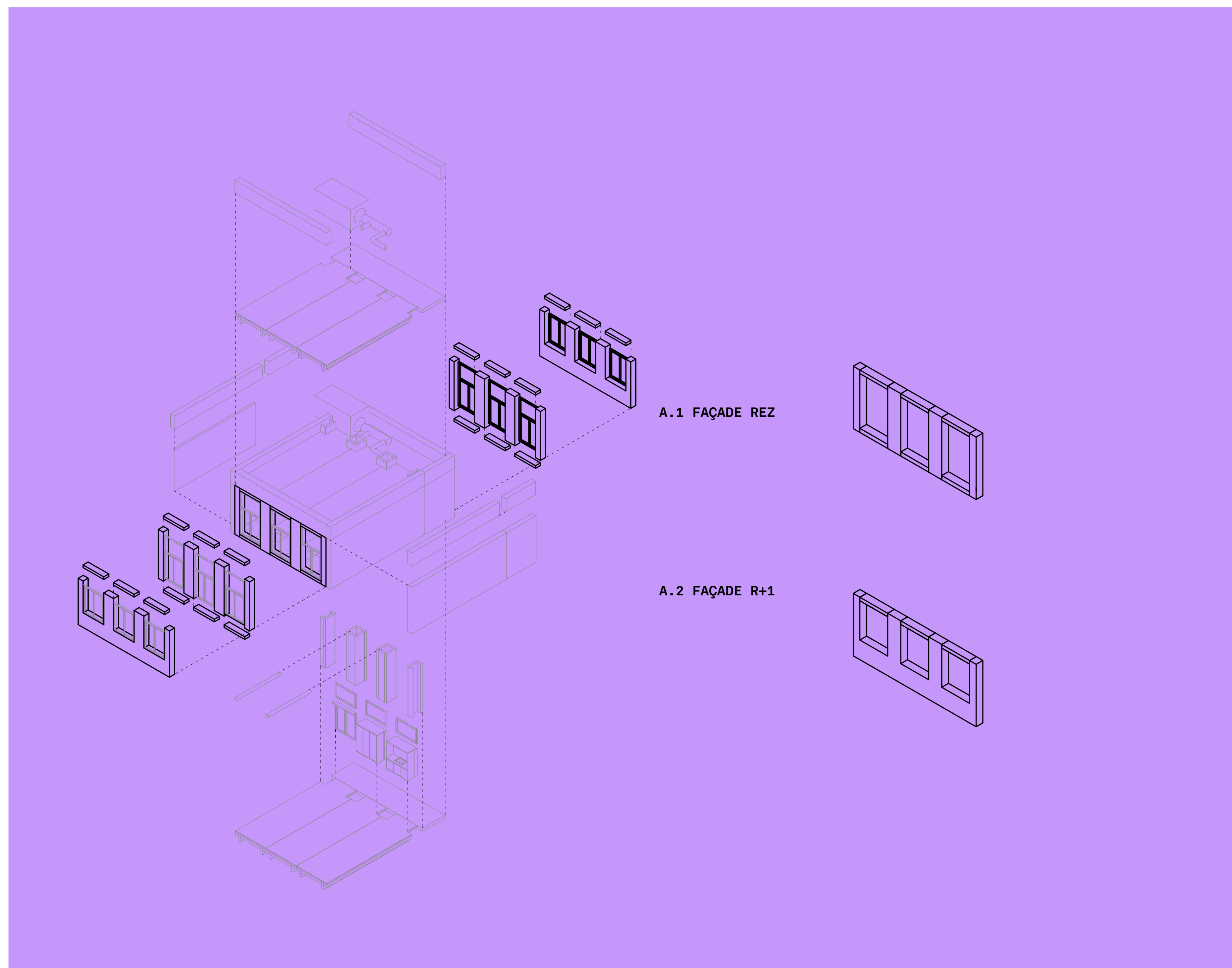
- les façades de rez-de-chaussée;
- les façades d'étage.

Les éléments de façades font 7.95 m par 3.60 m de haut. Fabriquant l'enveloppe extérieure du module, ceux-ci comportent tous les composants nécessaires à l'isolation et l'étanchéité des pans verticaux de la future école. Ils sont parachevés par un pare-pluie qui doit être complété par un revêtement de parement extérieur (= élément spécifique, cf. chapitre « échelle 2: parties_introduction »). Côté intérieur, les panneaux de bois sont laissés apparents.

Comme précisé au chapitre « échelle 2: parties_structure », les façades extérieures sont portantes. En fonction de leur position et de leur fabrication, elles n'ont pas exactement les mêmes caractéristiques. Ainsi, alors qu'elles sont toutes en bois, les façades sont composées de :

- LC pour le rez-de-chaussée;
- CLT pour l'étage.

Ces éléments de façade extérieure permettent de gérer la fermeture extérieure tant des modules de classe que des modules de couloir.



2.4 ÉCHELLE 3 : ÉLÉMENTS

A / FAÇADES

II. CHÂSSIS

Comme précisé dans le chapitre « échelle 2 : parties_enveloppe », les dimensions des ouvertures dans les façades sont toutes identiques. Elles varient uniquement selon l'étage où se trouve l'élément de façade :

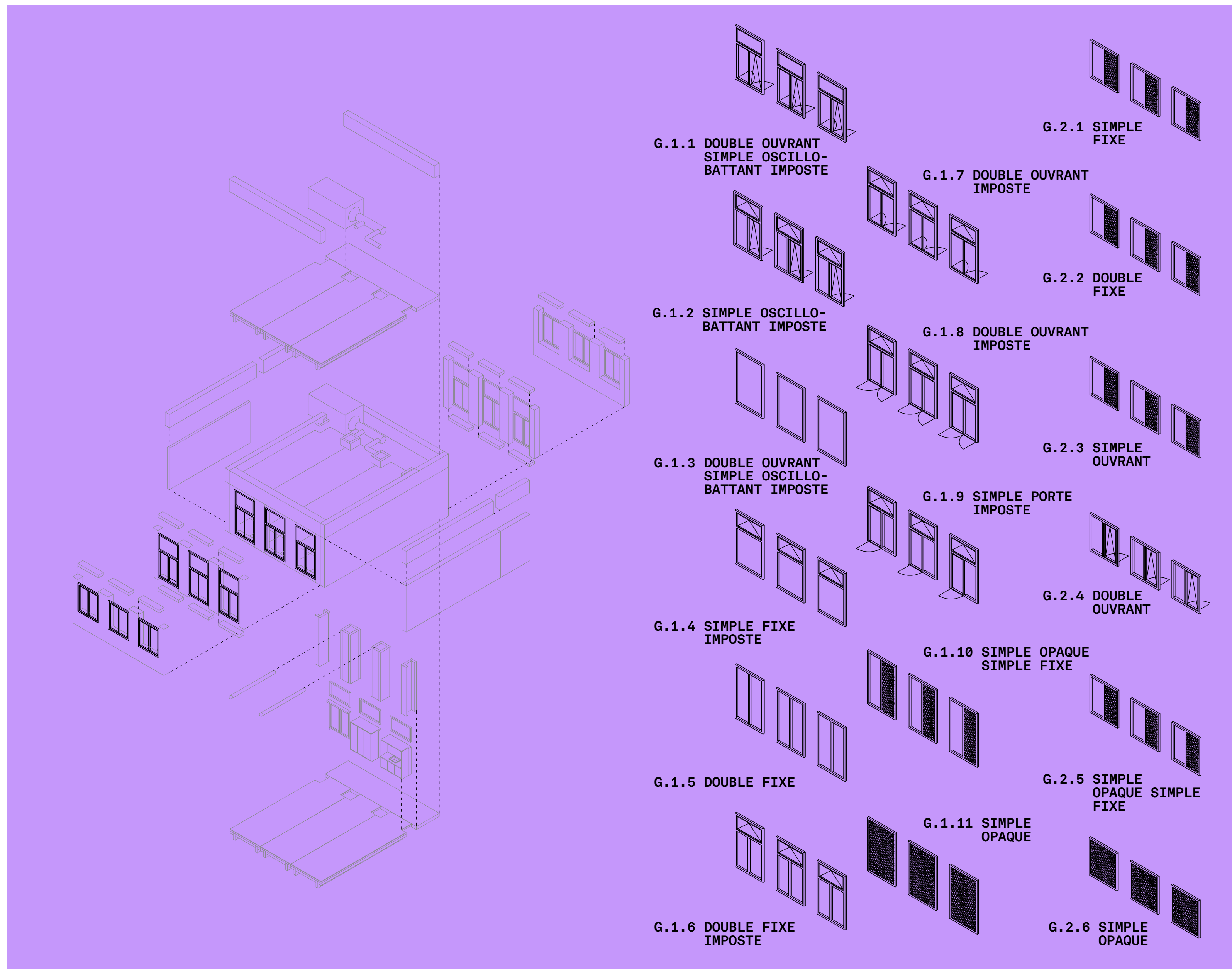
- au rez-de-chaussée : largeur de 1.80 m, hauteur de 3.07 m ;
- à l'étage : largeur de 1.80 m, hauteur de 2.16 m sur une allège pleine de 90 cm.

Deux châssis standards bois-aluminium sont proposés :

- au rez-de-chaussée : un double oscillo-battant, ouvrant vers l'intérieur, garni d'une imposte vitrée. Il est étudié de manière telle qu'il est praticable par une personne à mobilité réduite ;
- à l'étage : un double oscillo-battant, ouvrant vers l'intérieur, sans imposte.

Au départ de ces deux solutions de base, une grande variété de châssis est possible pour permettre de répondre soit à des prescriptions normatives (p. ex., normes de sécurité incendie : double ouvrant vers l'extérieur pour les chemins d'évacuation), soit aux envies des usagers de l'école.

Enfin, toujours comme précisé au chapitre « échelle 2 : parties_enveloppe », les châssis seront doublés ou non de stores extérieurs en fonction de leur orientation ou de la protection naturelle procurée par leur environnement. Cette décision dépendra de la composition du projet dans sa totalité.



2.4 ÉCHELLE 3 : ÉLÉMENTS

A / FAÇADES

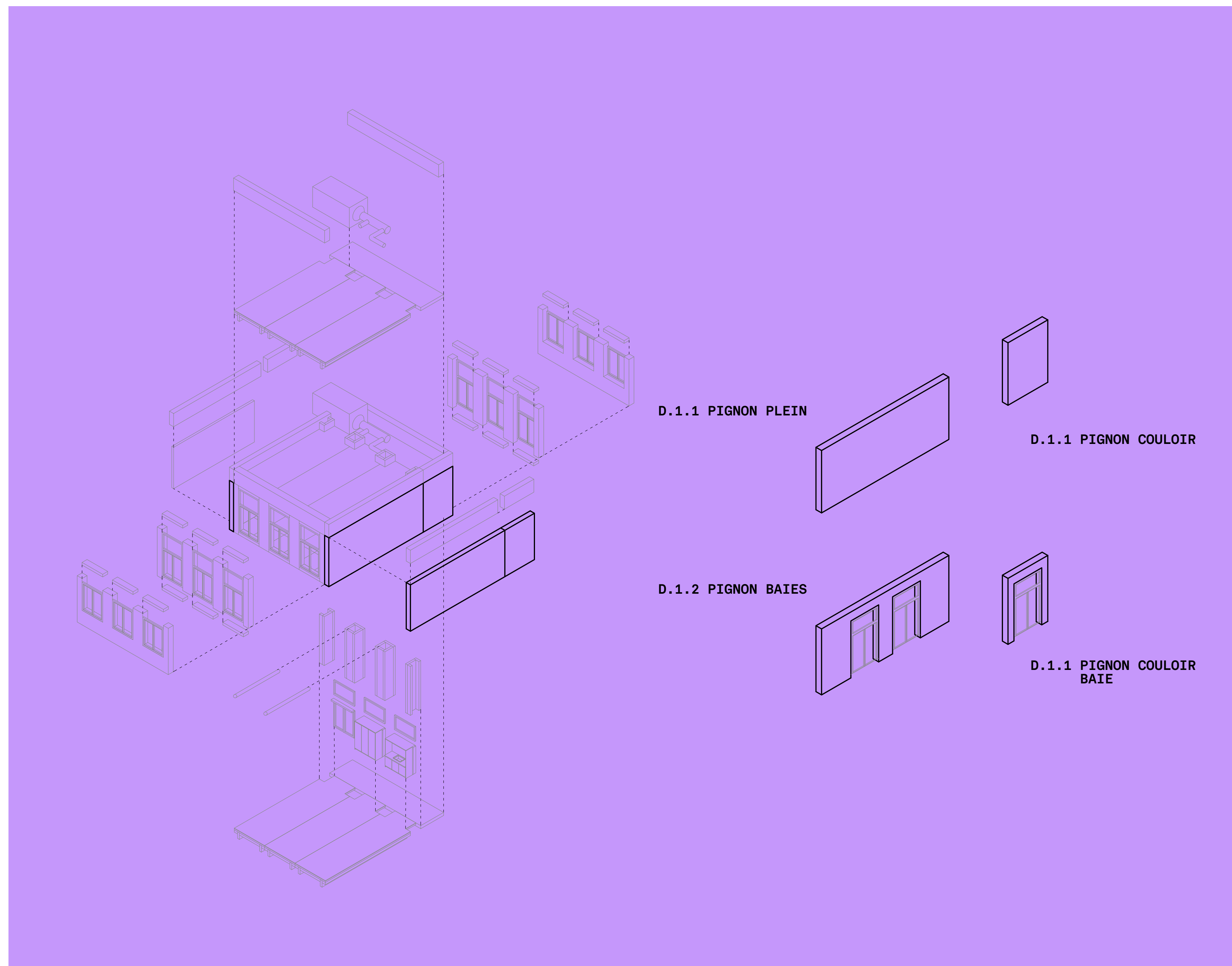
III. MURS PIGNONS

Outre les éléments de façade extérieure classiques, le système MODULR propose des éléments de façade préfabriqués qui peuvent être positionnés perpendiculairement aux façades principales pour former les murs pignons des écoles.

Ces murs pignons sont réfléchis pour pouvoir fermer les faces latérales des modules de classe ou de couloir aux extrémités de l'école. Leur composition est similaire aux éléments de façades principaux, à une différence près: étant donné que ces murs pignons ne sont pas porteurs, les panneaux en bois formant la face intérieure de ces composants est moins épaisse.

En fonction des besoins en termes de lumière, de vue ou d'accès de l'école et des espaces qui jouxtent ces murs pignons, deux solutions sont envisagées:

- soit les murs sont totalement pleins;
- soit ils sont percés de baies dont les dimensions sont identiques à celles des façades principales de rez-de-chaussée ou d'étage.



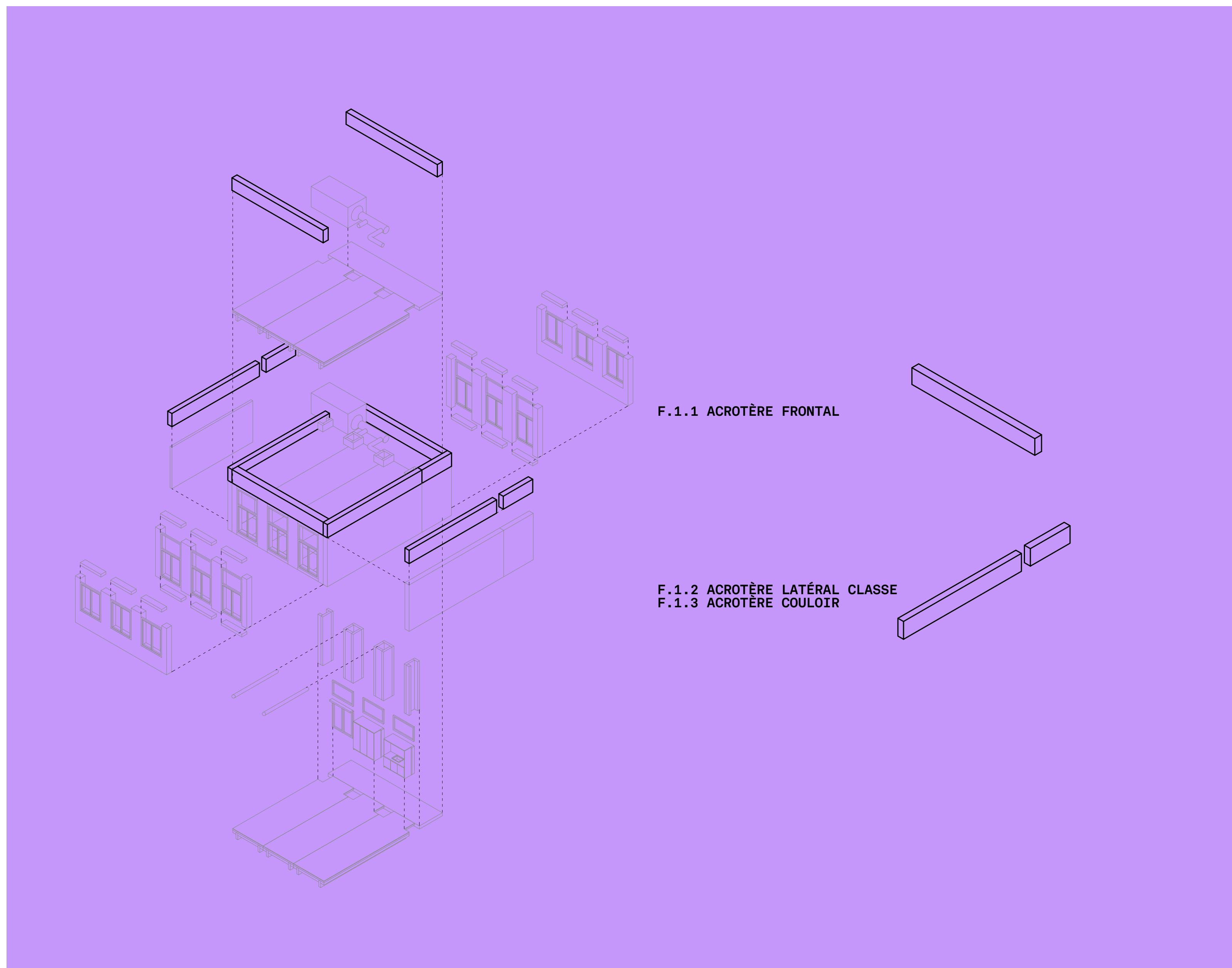
2.4 ÉCHELLE 3 : ÉLÉMENTS

A / FAÇADES

IV. ACROTÈRES

Les éléments de façade extérieure, qu'ils soient de pignon ou non, sont complétés par des éléments d'acrotère lorsqu'ils se trouvent au dernier étage de l'école. Ces derniers permettent de :

- simplifier la structure et la complexité des éléments de façade (rez-de-chaussée ou étage) par la création d'une poutre continue qui assure un comportement en « portique » de la structure de façade;
- produire une rehausse suffisante de la façade pour accueillir l'isolation et les complexes d'étanchéité de la toiture tout en lui assurant les pentes minimales d'évacuation des eaux de pluie;
- créer la hauteur de protection nécessaire (cf. norme 03-004) pour les personnes qui circulent sur la toiture pour son entretien et celui des équipements de ventilation et de chauffage.



2.4 ÉCHELLE 3 : ÉLÉMENTS

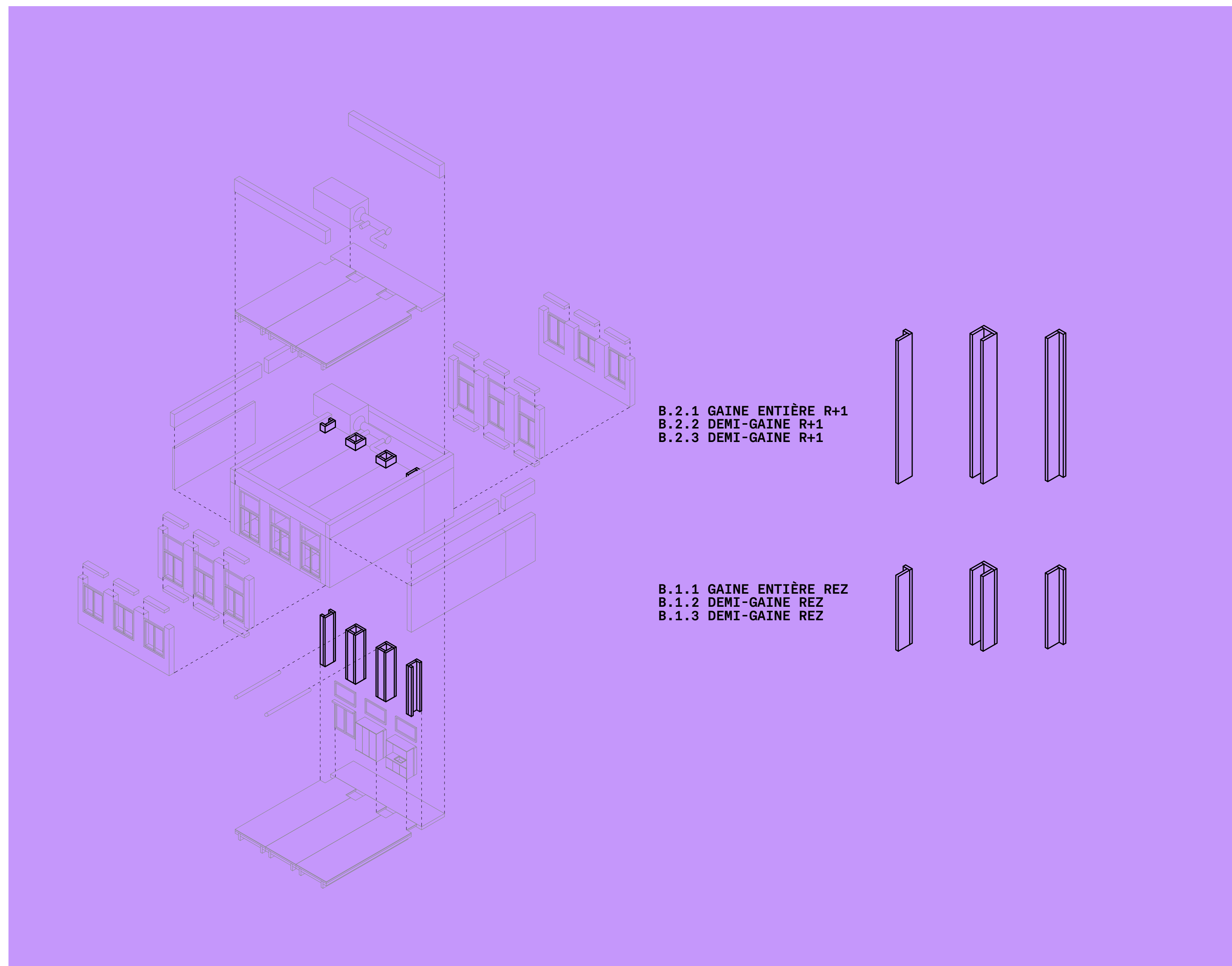
B / PILIERS-GAINES

Comme précisé dans les caractéristiques structurelles du module (cf. chapitre « échelle 2: parties_structure »), des éléments ponctuels de structure – piliers-gaines – sont disposés parallèlement aux façades extérieures. La section de ces éléments est en forme de U tourné vers l'intérieur du module de classe. Cette section creuse permet d'accueillir les gaines de ventilation, de chauffage, d'eau et d'électricité. Du côté intérieur du module, les piliers-gaines sont fermés par des cloisons en plâtre (cf. paragraphe « cloisons intérieures »), pour des raisons de protection au feu.

D'une dimension de 85 cm par 90 cm, et disposés à un intervalle de 1.80 m, les piliers-gaines présentent différents types en fonction de la hauteur du bâtiment et de leur position dans la composition générale:

- des piliers de simple hauteur (3.70 m, pour une école d'un seul niveau) ou de double hauteur (7.10 m, pour une école de deux niveaux);
- des piliers entiers ou des demi-piliers (pour les modules situés aux extrémités de l'école).

Les piliers-gaines sont réalisés en bois apparent, en LC.



2.4 ÉCHELLE 3 : ÉLÉMENTS

C / DALLES

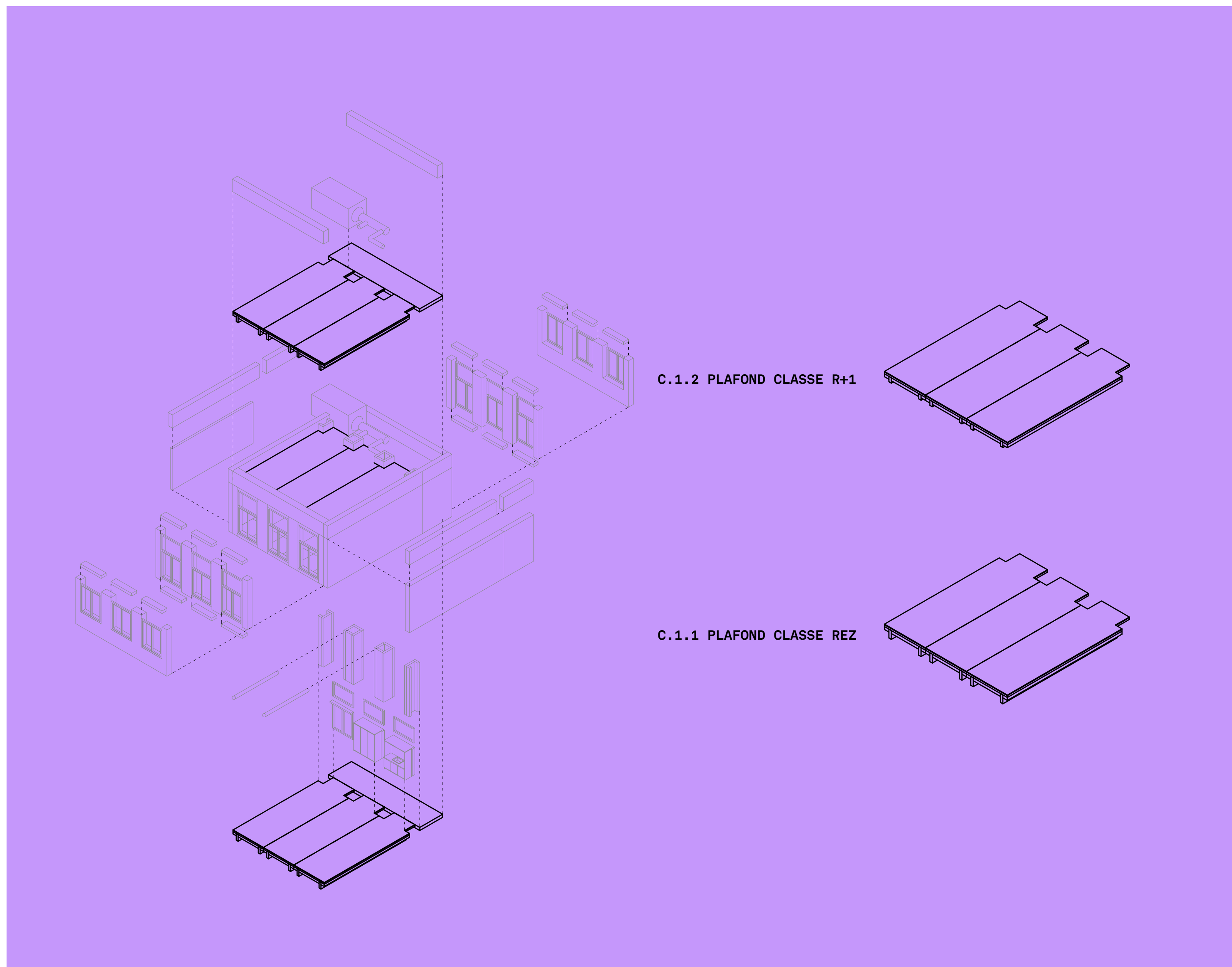
I. CLASSES

Comme précisé dans les caractéristiques structurelles du module (cf. chapitre « échelle 2 : parties_structure »), les éléments de dalle des modules de classe sont composés de :

- deux poutres en LC reposant sur les trumeaux de façade et les piliers-gaines. Ces doubles poutres sont distantes de 1.80m. Leur épaisseur (14 cm) est identique aux tranches des piliers-gaines. La hauteur des poutres dépend de leur position dans le module (50 cm pour le sol du premier étage, 34 cm pour la toiture);
- un panneau en CLT de 2.64m de large dont l'épaisseur varie en fonction de leur position dans le module (10 cm pour le sol du premier étage, 9 cm pour la toiture).

Ces éléments structurels, qui assurent la stabilité de l'ensemble, sont complétés pour assurer un confort acoustique optimal par :

- entre les poutres, sous les panneaux de CLT : un plafond perforé et un matelas de 5 cm de laine minérale;
- sur les panneaux de CLT : un matelas de 6 cm de laine minérale, des plots acoustiques supportant un complexe composé d'un panneau d'OSB et un panneau de Fermacell. Ce complexe est prêt à accueillir le revêtement de sol.



2.4 ÉCHELLE 3 : ÉLÉMENTS

C / DALLES

II. COULOIRS

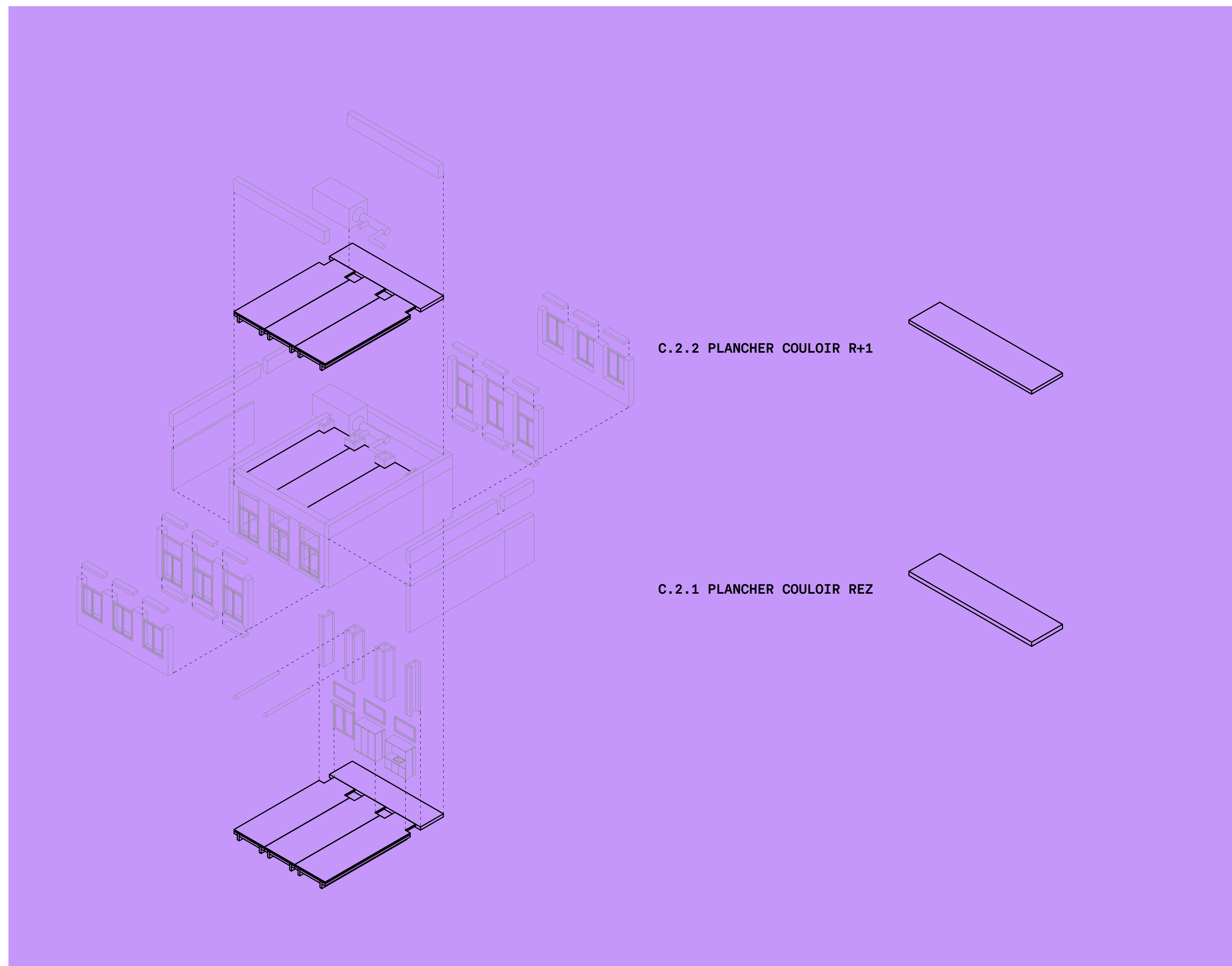
Comme précisé dans les caractéristiques structurelles du module (cf. chapitre « échelle 2 : parties_structure »), les éléments de dalle des modules de couloir sont plus simples que ceux des modules de classe. Ils sont composés de :

- panneaux en CLT dont l'épaisseur varie en fonction de leur position dans le module (12 cm pour le sol du premier étage, 9 cm pour la toiture).

Les dalles de couloir font 7.95 m de long pour une largeur qui varie en fonction de la composition de l'école :

- 2.79 m pour une combinaison : module de classe + module de couloir ;
- 2.93 m pour une combinaison : module de classe + module de couloir + module de classe.

La sous-face des dalles de couloir est laissée en bois apparent. La face supérieure est complétée d'un panneau en Fermacell prêt à accueillir le revêtement de sol.



2.4 ÉCHELLE 3 : ÉLÉMENTS

D / HVAC

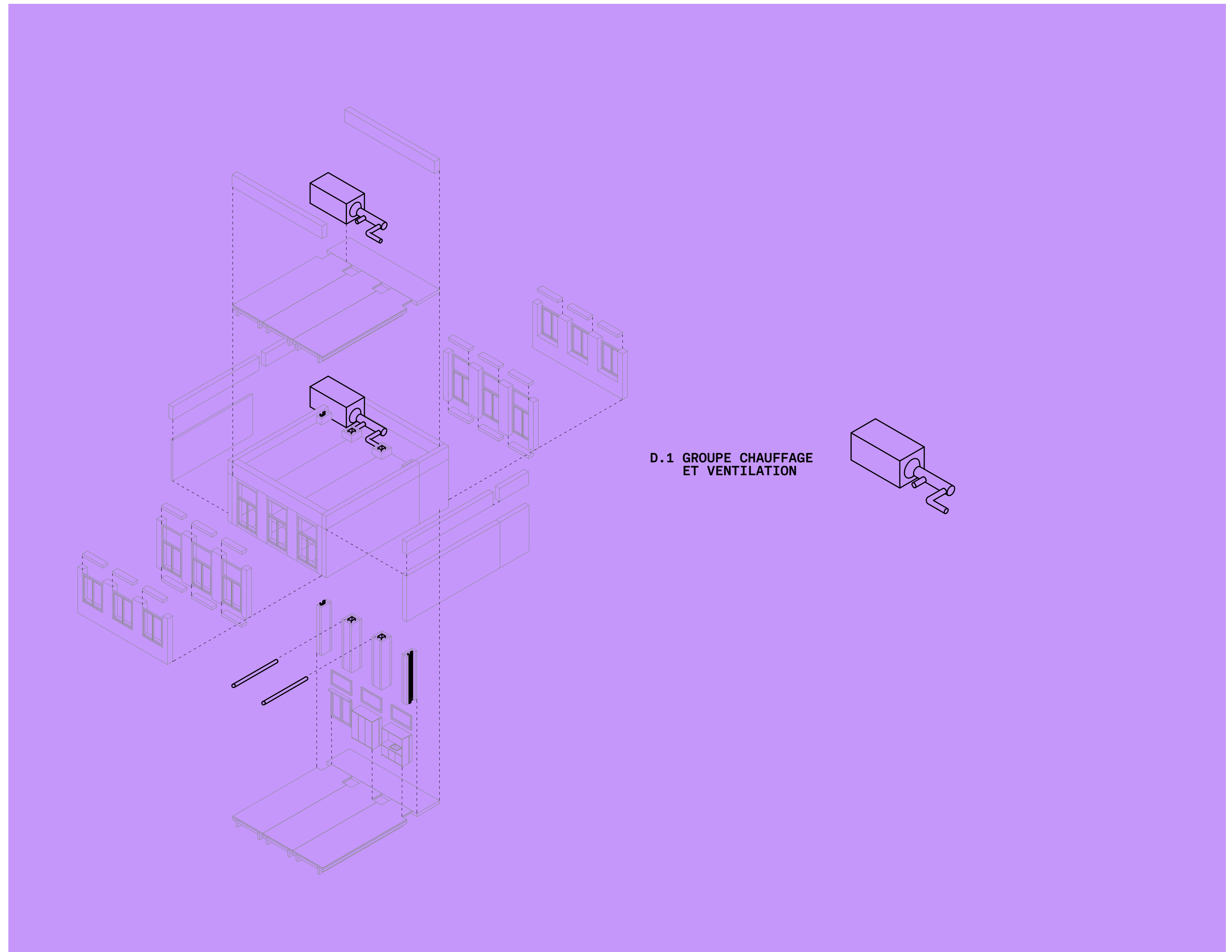
I. PRODUCTION

Comme précisé dans les caractéristiques de chauffage et ventilation du module (cf. chapitre « échelle 2: parties_HVAC»), les équipements techniques intégrés au système préfabriqué comprennent :

- un appareil de production de chaleur de type pompe à chaleur (PAC) air/eau modulante permettant le chauffage de 1 à 4 modules;
- un groupe de ventilation d'une puissance de 3.6kW permettant le renouvellement d'air pour satisfaire à l'arrêté royal de mars 2016 dans 1 à 4 modules. Le groupe de ventilation est équipé d'un silencieux.

L'ensemble de ces équipements de production de chaleur et de ventilation est disposé en toiture au droit des modules de couloir quand ils sont présents ou au-dessus des modules de classe pour les écoles sans couloir. Leur dimensionnement est tel qu'ils permettent d'assurer le confort thermique et le renouvellement d'air nécessaire à un environnement pédagogique optimal.

Les raccordements électriques des équipements techniques devront être prévus dans les tableaux généraux basse tension (TGBT) de chacun des projets.



2.4 ÉCHELLE 3 : ÉLÉMENTS

D / HVAC

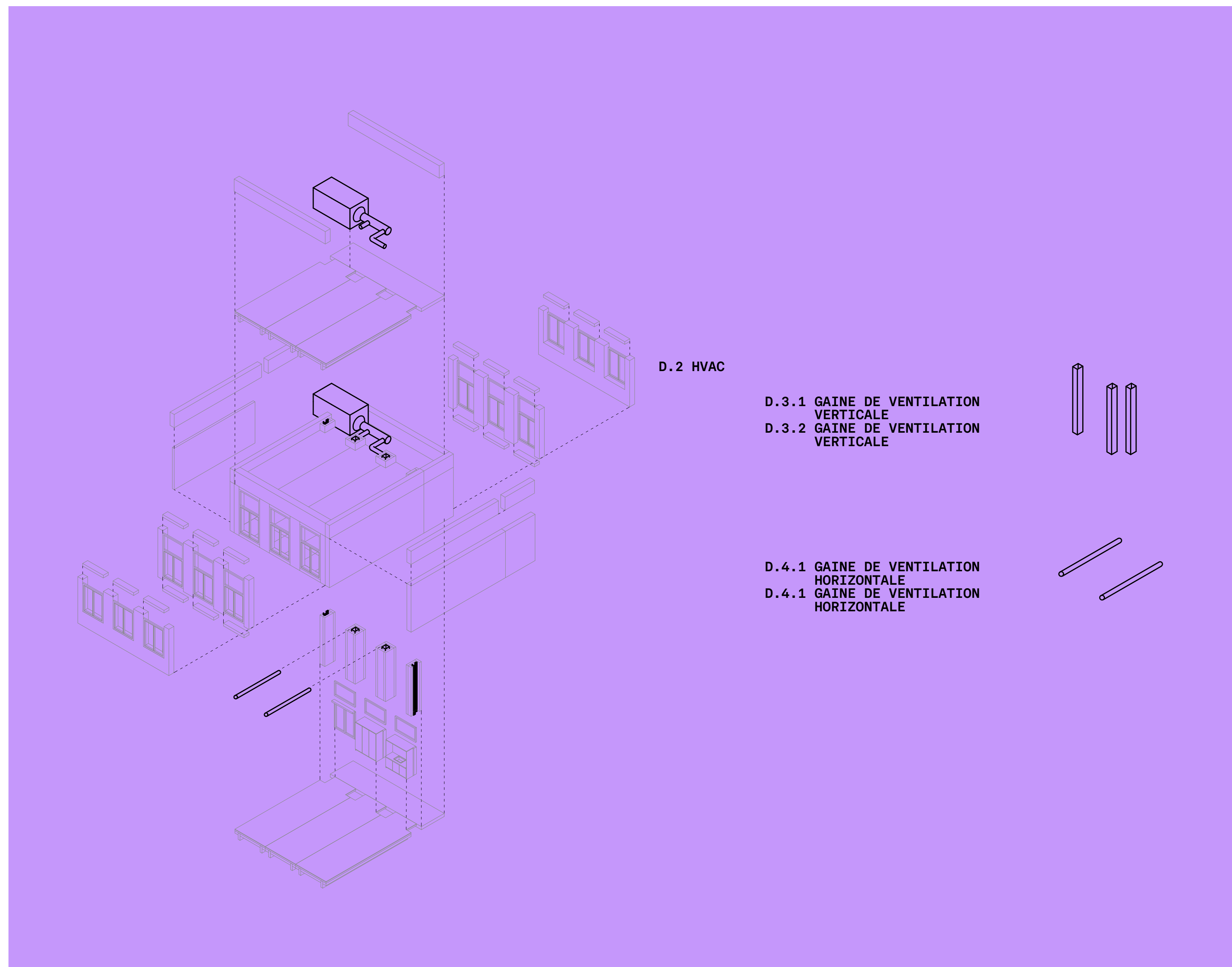
II. DISTRIBUTION

Les éléments de distribution de ventilation comprennent :

- les gaines verticales en acier galvanisé de 350 x 350 mm;
- leur calorifugeage (25 mm de mousse de caoutchouc synthétique à cellules fermées);
- les gaines horizontales en acier galvanisé de 400 mm de diamètre et leurs grilles de pulsion et de reprise d'air;
- leurs dispositifs (colliers suspendus sur tiges filetées et dissociation point dur via une membrane en EPDM);
- un silencieux circulaire;
- une batterie terminale (pour la gaine de pulsion);
- une boîte VAV.

Les éléments de distribution de chaleur comprennent :

- les tuyauteries en PEHD de diamètre DN25;
- leur calorifugeage de 40 mm;
- une vanne d'arrêt sur le départ d'eau de chauffage;
- une vanne de réglage sur le retour pour le raccordement de la batterie terminale (DN25).



2.4 ÉCHELLE 3 : ÉLÉMENTS

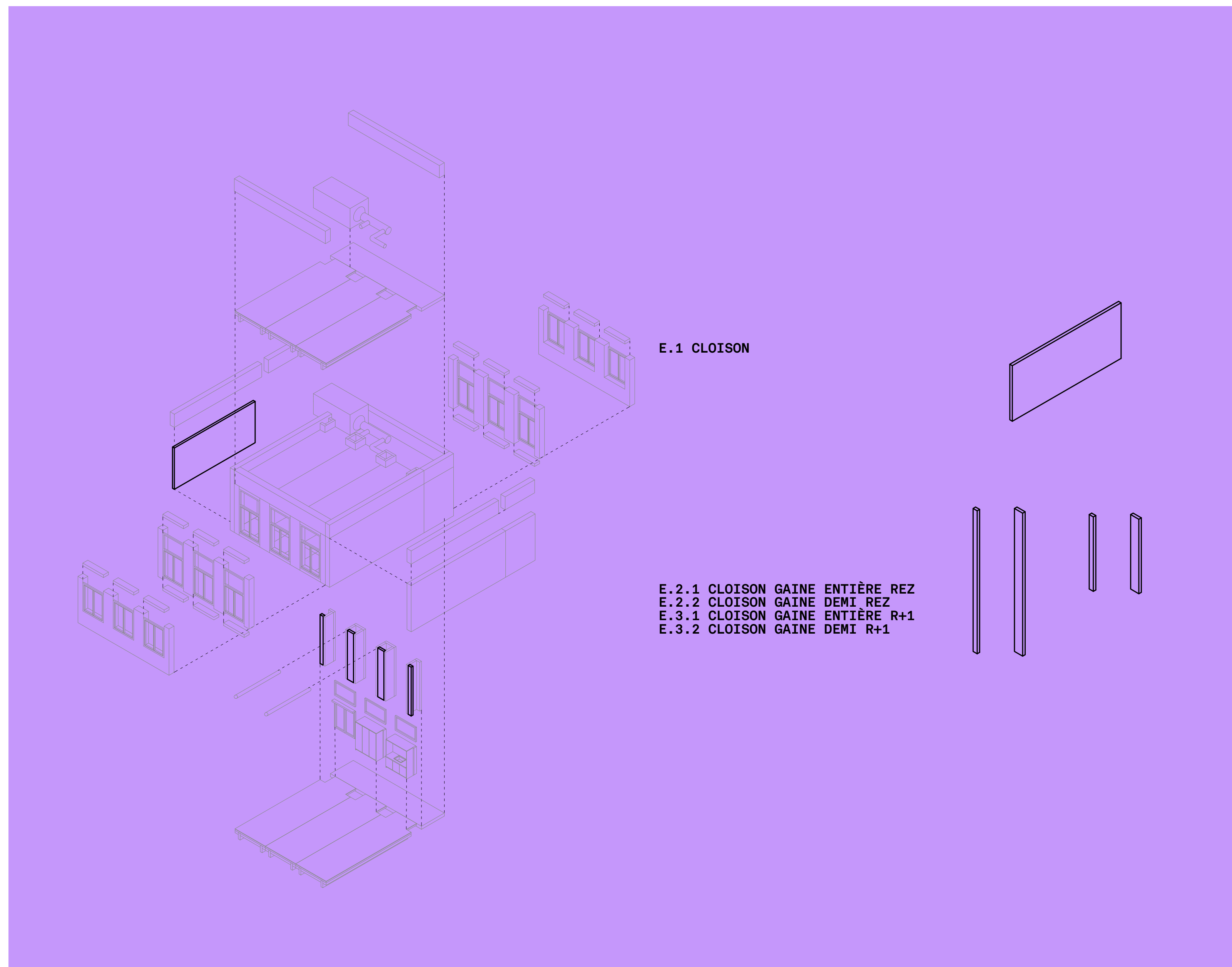
E / CLOISONS INTÉRIEURES

Comme précisé dans les caractéristiques des cloisons non portantes du module (cf. chapitre « échelle 2: parties_premier équipement »), le cloisonnement intérieur est réalisé en plaques de plâtre. Ces éléments ne sont donc pas préfabriqués *a priori*. Néanmoins, on peut considérer qu'un nombre important de cloisons intérieures sont bien génériques puisqu'elles sont répétables sans modification à travers le projet. C'est le cas, par exemple :

- des cloisons entre deux modules de classe successifs;
- des cloisons qui ferment les piliers-gaines.

Ces cloisons creuses intègrent tous les réseaux électriques propres aux espaces de l'école. Leur constitution et leurs performances sont conditionnées par l'occupation des locaux qu'elles encadrent :

- isolation acoustique (p. ex., les parois de séparation entre classes demandent l'isolation horizontale suivante: DA = 44 dB et L'I = 60 dB;
- résistance et réaction au feu (p. ex., les cloisons d'un local d'archivage seront RF 60 min);
- robustesse par rapport à l'eau (p. ex., les locaux sanitaires seront réalisés avec des plaques hydrofuges carrelées).



2.4 ÉCHELLE 3 : ÉLÉMENTS

F / MOBILIER

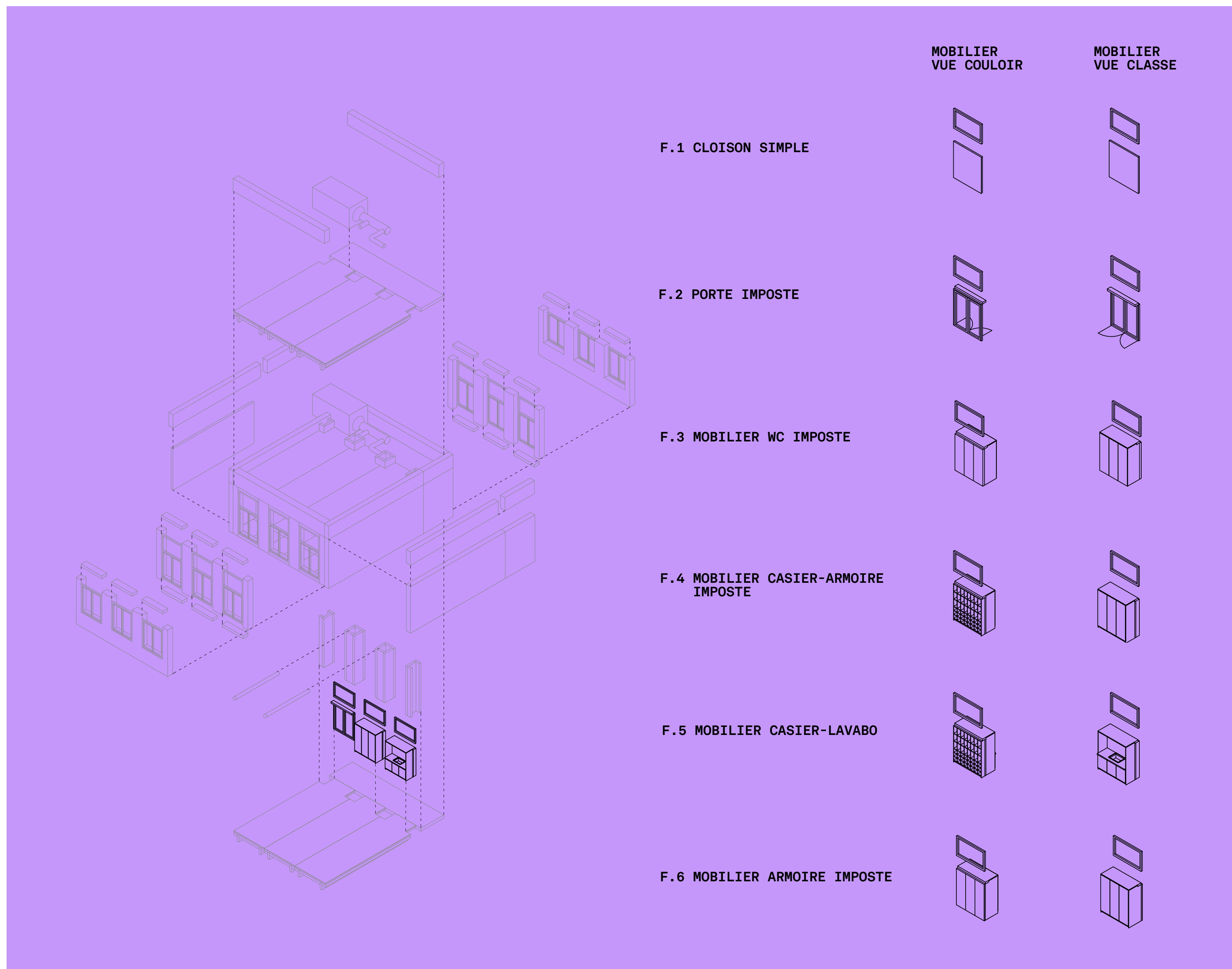
Comme précisé dans les caractéristiques des éléments structurels (cf. chapitre « échelle 2: parties_structure »), la distance entre deux piliers-gaines consécutifs est de 1.80m, pour une largeur de 90cm. Dans tous les cas de figure, une traverse en CLT faisant toute la largeur de cet espace et de 8cm d'épaisseur est prévue à une hauteur de 2.10m. Elle est surmontée d'une imposte vitrée de 94cm de haut qui permet d'apporter un complément de luminosité au couloir. Le vitrage de cette imposte présente un Indice d'affaiblissement acoustique (Rw) de 35dB.

La fermeture de l'espace situé sous la tablette en CLT (90x180x210cm) peut être réalisée de différentes manières:

- soit avec une double porte vitrée proposant un double battant de 80cm de large au vitrage acoustique (Rw = 35dB);
- soit avec une cloison légère en plâtre (respectant l'isolement global suivant : DA = 32dB et L'I = 65dB);
- soit avec un élément de mobilier fait sur mesure ou standard en complément de la cloison légère, les dimensions de l'espace ayant été réfléchies pour y permettre l'implantation de mobilier courant sur le marché.

Plusieurs modèles de mobilier sont proposés dans le volume III « construction » du vade-mecum, permettant d'intégrer, au choix:

- une cloison simple;
- un WC pour les classes maternelles;
- des casiers;
- des armoires basses avec un évier;
- des armoires hautes.



2.4 ÉCHELLE 3 : ÉLÉMENTS

G / SIGNALÉTIQUE

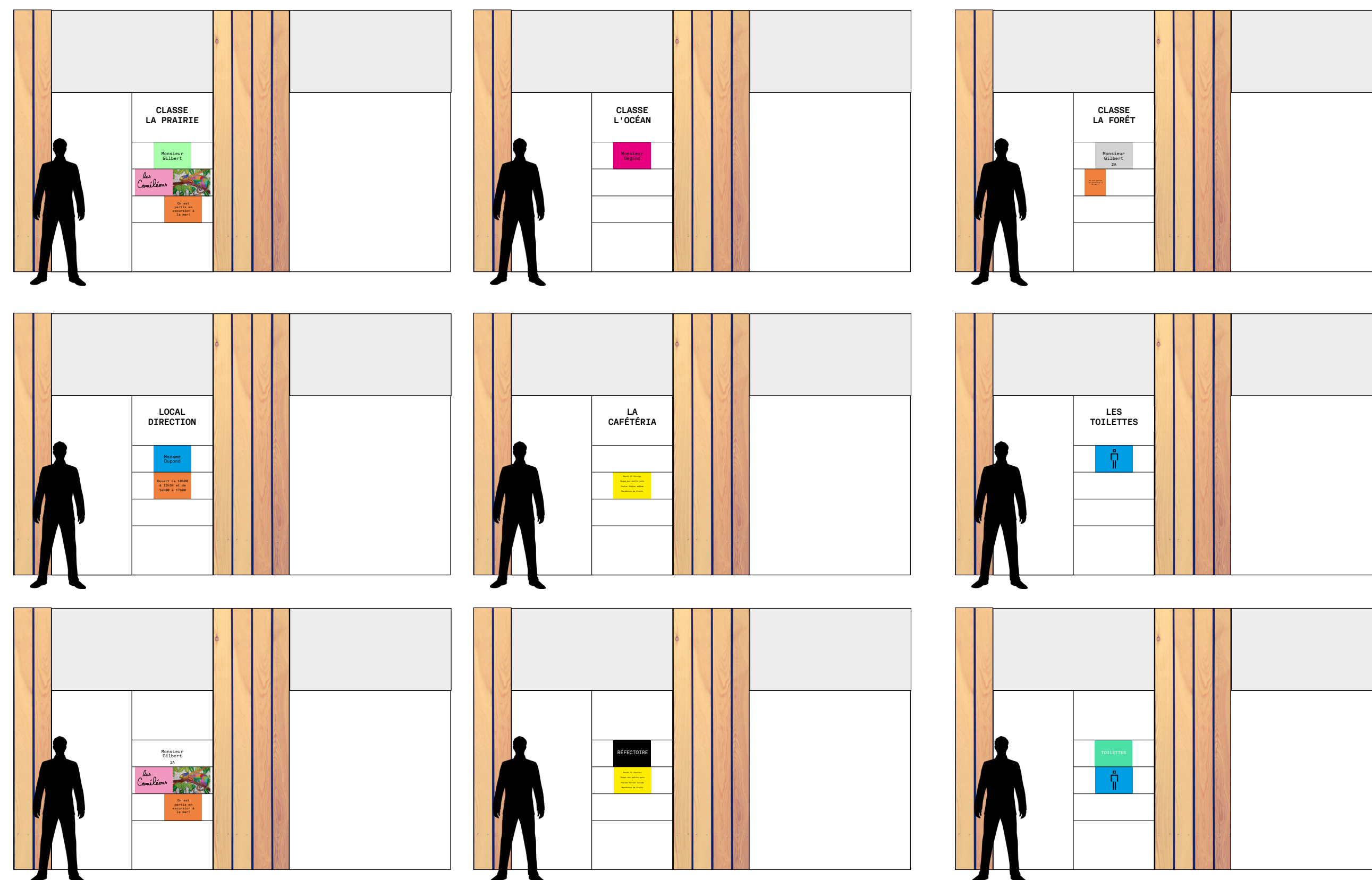
I. PRINCIPES

La signalétique du système MODULR a été élaborée autour des principes suivants :

- modularité: un système flexible qui permet une multitude de mises en place, au gré des utilisations;
- simplicité: un système facile à utiliser, à placer et à remplacer;
- économie: un système à budget réduit;
- durabilité: un système pérenne, dans la mesure des possibilités et des usages;
- conscience: une conscience écologique qui rentre dans la logique du projet architectural.

La signalétique concerne les modules préfabriqués qui composent l'école. Le système ne prend pas en charge les dispositifs qui s'appliquent à l'ensemble scolaire (p. ex., signalétique de secours), et qui devront être réfléchis et intégrés à une échelle globale une fois le projet d'école composé.

L'enjeu de la signalétique est le repérage par tous les usagers de l'école de la fonction des locaux. Pour ce faire, elle est intégrée directement sur les portes qui deviennent le lieu unique de la signalétique. Pour des raisons de facilité et de flexibilité, la signalétique se base sur un format DIN A3, ou DIN A4, commun dans toutes les écoles.



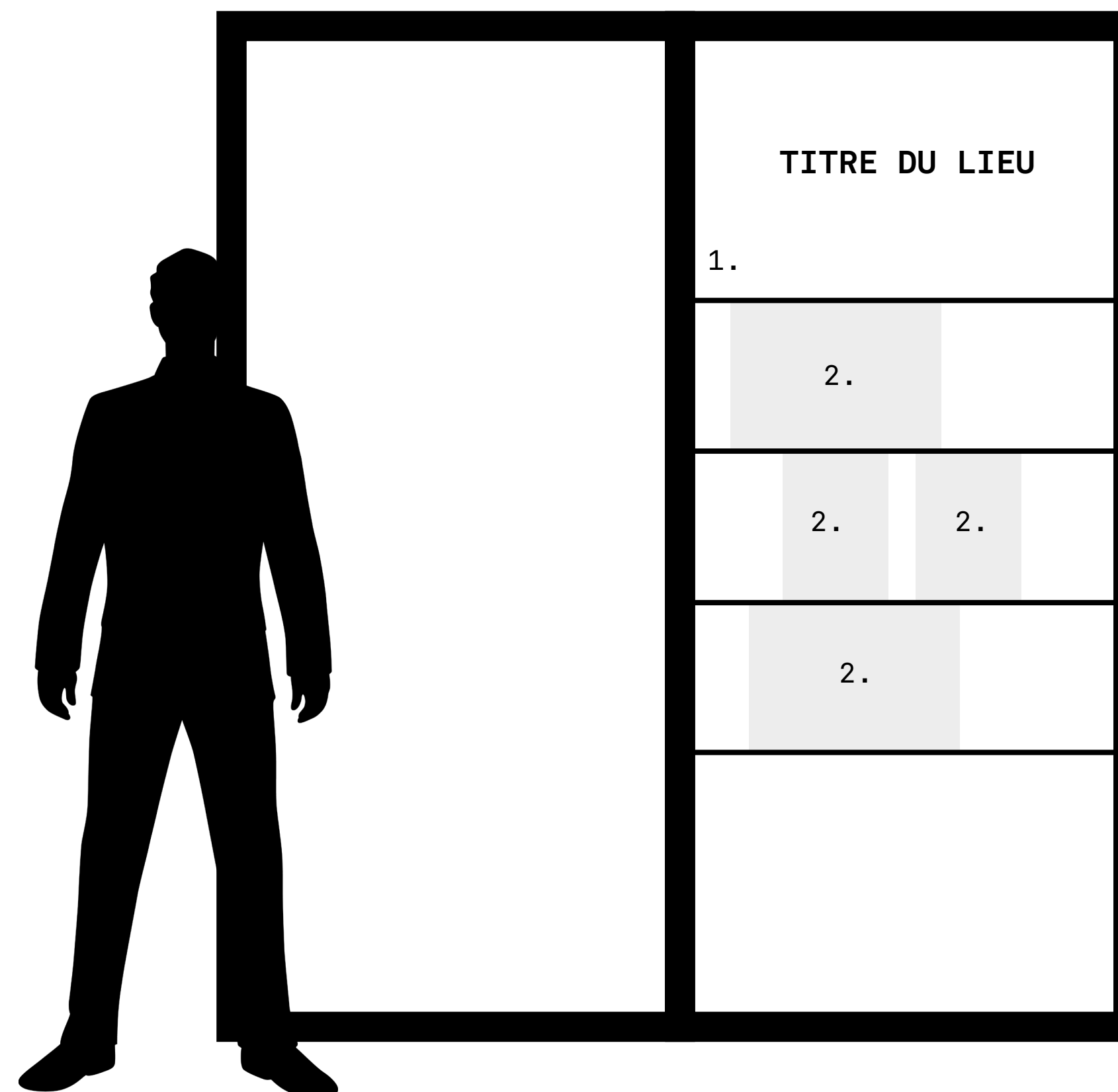
2.4 ÉCHELLE 3 : ÉLÉMENTS

G / SIGNALÉTIQUE

II. MISE EN PLACE

La double porte en verre intérieure est récurrente dans tous les modules de classe. C'est elle qui rassemble toutes les interventions signalétiques nécessaires. Quatre goulottes sont intégrées dans un des cadres des portes en bois. La pose de ces goulottes permet :

- d'insérer des feuilles plastifiées A3 ou A4. La plupart des écoles de la FW-B disposant d'une plastifieuse, ce système permet de modifier la signalétique très facilement au gré des besoins des usagers;
- d'identifier une zone rectangulaire au-dessus des goulottes. Dans cette zone, on pourrait coller un vinyle informatif qui marque par un chiffre ou un texte la classe ou le lieu (facultatif).



1. VINYLE INFORMATIF
2. FEUILLES PLASTIFIÉES A4 ET A3

2.5 MOCKUP

A / VÉRIFIER

Afin de mettre le système MODULR à l'épreuve, un prototype en grandeur réelle – mockup – a été construit chez Stabilame, le partenaire industriel de l'équipe, à Mariembourg. Ce prototype met en œuvre deux modules de classe et deux modules de couloir superposés flanqués d'un tiers de module accueillant une cage d'escalier. La construction du mockup a permis à l'équipe de vérifier les décisions prises dans la mise en place du système en termes de :

- qualité des espaces (proportions, matériaux, ergonomie, lumière),
- modes de préfabrication et d'assemblage des éléments,
- équipements technologiques pour le chauffage et la ventilation,
- acoustique,
- démontabilité des éléments.

Le mockup a été inauguré en juin 2021. Il est ouvert aux visites pour un public désireux de se rendre compte de ce qu'est un module préfabriqué en réalité.

























2.5 MOCKUP

B / ÉPROUVER

La construction d'un mockup en taille réelle a également été l'occasion d'ajuster les caractéristiques des modules et de leurs éléments constitutifs afin de les optimiser en vue de constructions futures et, notamment, celle du projet-pilote de l'Athénée royal de La Louvière.

Les essais et observations suivantes ont été réalisés:

- architecture (dimensions générales, proportion des espaces, châssis, teinte de sol, assemblage et découpe des éléments, plinthes, etc.);
- acoustique (isolation des bruits aériens, isolation des bruits de choc, isolation des bruits aériens de la façade, niveau sonore de la ventilation dans les classes, temps de réverbération, comportement vibratoire, etc.);
- techniques spéciales (test BlowerDoor, type de grilles de pulsion et d'extraction, débit d'air, etc.);
- stabilité (modes d'assemblage, type de ferrures, simplification de la pose des éléments, etc.);
- circularité du système MODUL R (analyse de la démontabilité, réutilisation, flexibilité, etc.).



03

Pas encore disponible.

MO DUL R

VADE - MECUM

MATADOR - KIS STUDIO
Greisch
Détang
Daidalos Peutz
COAST
UCLouvain (Architecture
et Climat + Structures
& Technologies)
Avec Stabilame comme
partenaire industriel.

cellule.
archi.



FÉDÉRATION
WALLONIE-BRUXELLES



FÉDÉRATION
WALLONIE-BRUXELLES
ENSEIGNEMENT