

« Analyse des étapes de réalisation »

« École Modulaire Riverside »

Préparé par « Les Chantiers de Chibougamau Itée –
Nordic Structures »

Ce rapport a été réalisé dans le cadre du Programme
de vitrine technologique pour les bâtiments et les
solutions innovantes en bois

« 2021-06-18 »

W M T

Williams Munoz Toro

Auteur

Julie Frappier

Julie Frappier

Révisseuse

Julie Frappier

Julie Frappier

Directrice, Services
Techniques

Avis de non responsabilité

Le contenu et les résultats de ce rapport sont produits et présentés par le promoteur du projet. Le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs ainsi que le Fonds vert ne sont donc pas responsables du contenu de ce document.

Table des matières

1. Sommaire exécutif et synthèse de l'étude	1
2. Introduction.....	2
2.1 Titre et lieu de réalisation du projet de construction.....	3
2.2 Description du projet de construction.....	3
2.2.1 Description du bâtiment innovant ou de la solution innovante.....	3
2.2.2 Échéancier global et durée.....	3
2.2.3 Budget global	3
2.2.4 Partenaires.....	3
2.2.5 Défis et risques généraux.....	3
3. Détails de l'étude	4
3.1 Introduction et hypothèses de départ.....	4
3.2 Objectifs.....	4
3.3 Méthodologie	4
3.4 Résultats et analyse	4
3.5 Conclusions	9
3.6 Retombées et rayonnement des solutions développées et potentiel de reproductibilité pour l'industrie	9
3.7 Recommandations.....	9

1. Sommaire exécutif et synthèse de l'étude

Le projet de l'École Riverside est le premier projet complet de conception-préfabrication-installation de modules de salles de classe et de vestiaires réalisés par Les Chantiers de Chibougamau ltée et son équipe d'ingénierie, Nordic Structures. La durée du projet, de 23 mois, a permis aux différents intervenants de participer à un projet d'innovation technique-commercial qui est devenu par la suite un nouveau produit sur le marché de la construction en bois massif.

L'étude cherchait à identifier des éléments « facilitateurs » et « à améliorer » lors de la réalisation d'un premier projet de salles de classe. L'exercice se voulait formateur, dans le sens d'améliorer notre processus général de livraison de modules préfabriqués. De plus, nous voulions confirmer les éléments influençant la performance globale du processus lorsque celui-ci est réalisé dans un mode « *fast-track* »; ceci dans le but d'étudier la flexibilité de notre équipe et de notre système de production de bâtiments modulaires lorsque mis sous-pression avec un projet novateur.

Les résultats principaux de l'étude indiquent une réussite du projet. L'analyse par étape nous a permis d'isoler plus facilement ces éléments « facilitateurs » et « à améliorer », et de mettre en place les ajustements et corrections nécessaires pour les projets qui ont succédé à celui de « l'École modulaire Riverside ».

2. Introduction

Le projet de salles de classe modulaires de l'École Riverside c'est le premier projet complet de conception-préfabrication-installation de modules de salle de classe et de vestiaires réalisés par Les Chantiers de Chibougamau Ltée et son équipe d'ingénierie, Nordic Structures. Ce projet a débuté au mois de juillet de l'année 2018 avec les premières conversations sur la faisabilité d'un projet en bois massif pour fournir des salles de classe pour cette école. Dès l'approbation du projet, sa réalisation a été faite en mode « *fast track* ».

Les Chantiers de Chibougamau Ltée a pris la décision de lancer cette nouvelle gamme de produits, s'appuyant sur son programme de développement de systèmes constructifs préfabriqués en bois massif. Ce projet a été le premier pour la *Central Quebec School Board*, qui cherchait à augmenter le nombre de places pour les étudiants de la ville d'Arvida où se trouve l'emplacement de l'École Riverside.

Divers travaux et activités ont été nécessaires pour la réalisation de ce projet, incluant un haut niveau de coordination entre les différents corps professionnels et de métier, ce qui est propre à la fourniture de bâtiments pour les activités éducationnelles.

La nouveauté du projet ainsi que le haut niveau de coordination exigé ont donné l'opportunité d'identifier plus facilement les éléments facilitateurs et les éléments à améliorer associés à ce type de construction préfabriquée. Nous vous présentons dans les prochaines pages certains détails en lien avec les items de conception, de fabrication et d'installation du projet de l'École Riverside.



Figure 1 : Vue vers la cour à partir d'une des salles de classe en bois massif apparent de l'École Riverside.

2.1 Titre et lieu de réalisation du projet de construction

Titre : École modulaire Riverside

Lieu : RIVERSIDE REGIONAL SCHOOL, 1770 Rue Joule, Jonquière, QC, G7S 3B1

2.2 Description du projet de construction

Le bâtiment se compose de deux salles de classe et d'un vestiaire, faits à partir d'un système de construction modulaire en bois massif. La construction possède 1 étage sur une superficie de 254 m². La bâtisse, de type non résidentiel, est destinée aux activités éducationnelles

2.2.1 Description du bâtiment innovant ou de la solution innovante

La conception des salles de classe modulaires se fait en bois massif, principalement avec du bois lamellé-collé et du bois lamellé-croisé. Le type de construction préfabriquée s'effectue en minimisant les pertes de matériaux et en optimisant les espaces et l'éclairage naturel. Du point de vue structural, les modules ont une grande rigidité et peuvent être démontés et relocalisés au besoin. Les assemblages de mur et de plancher permettent d'atteindre un confort thermique et acoustique notable, ce qui facilite le déroulement des activités à l'intérieur des salles.

De plus, les matériaux structuraux utilisés pour la construction des modules en bois massif possèdent une résistance au feu intrinsèque qui offre un comportement prévisible et sécuritaire. Finalement, les salles de classe mettent en valeur la beauté du bois, créant un environnement chaleureux et propice à l'apprentissage.

2.2.2 Échéancier global et durée

Le projet a été réalisé entre le mois de juin 2019 et s'est terminé en février 2021. Ceci inclut toutes les étapes, dès la conception jusqu'à la fin du suivi de la performance globale du système.

2.2.3 Budget global

Le budget global a été de 410 391 \$.

2.2.4 Partenaires

Les Chantiers de Chibougamau Ltée a exécuté ce projet avec ses équipes (Chantiers Chibougamau et Nordic Structures). Le Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) a été le seul partenaire (financier).

2.2.5 Défis et risques généraux

Le projet « École modulaire Riverside » constitue le premier en son genre. Les salles de classe modulaires en bois massif sont ainsi devenues une alternative concrète pour les besoins en bâtiments du secteur de l'éducation.

Les défis principaux étaient en lien avec nouveauté du système constructif et du procédé requis à mettre en place, et ça, de la conception jusqu'à la mise en service. Ceci inclut la

coordination de la conception, l'approvisionnement des matériaux (structuraux et non structuraux), la fabrication et des différents corps de métier.

Les risques généraux étaient associés au respect du budget et principalement aux contraintes de temps imposées par le retour des élèves en classe au mois de septembre 2019.

3. Détails de l'étude

3.1 Introduction et hypothèses de départ

Pour l'équipe de Chantiers Chibougamau – Nordic Structures, le projet de l'École Riverside a été une source importante d'information en lien avec la fabrication et la mise en service de systèmes constructifs préfabriqués de construction modulaire. Ce que nous présentons ici comme des éléments « facilitateurs » et « à améliorer » rencontrés lors de la réalisation de ce projet, sont en effet des éléments d'apprentissage et d'amélioration en continu à considérer lors des nouveaux projets.

La réalisation du projet de l'École Riverside ressemble à un processus de conception intégrée où chaque acteur a apporté ses visions et exigences dès le commencement des discussions. Cette approche est nécessaire, car les corrections sur place, propres aux projets de construction sur le site, peuvent être coûteuses dans le contexte de la préfabrication, spécialement une fois que les modules sont fermés (avec finition extérieure et intérieure) et prêts à être installés.

3.2 Objectifs

Identifier les éléments « facilitateurs » et ceux « à améliorer » lors de la réalisation de projets de fabrication et d'installation des salles de classe modulaires en bois massif.

3.3 Méthodologie

Pour la réalisation de l'étude, tout le processus englobant l'exécution du projet a été révisé. Au commencement, des corps professionnels tels les architectes, les ingénieurs, le manufacturier, le transporteur et l'installateur ont été consultés et/ou invités au commencement du processus de conception afin de repérer le maximum d'éléments pouvant réduire, voire éliminer, les conflits. Ce processus de réalisation, allant de la conception des modules jusqu'à l'installation, a permis également de profiter de ces différentes perspectives et de les incorporer dans les projets qui ont succédé à celui de l'École Riverside.

3.4 Résultats et analyse

a. Conception

Les corps professionnels impliqués lors de la conception étaient ceux liés à l'architecture, l'ingénierie structurale, l'ingénierie de production et l'installation. Tous ces acteurs, en plus du client, ont participé activement à développer et trouver des solutions qui respectaient les exigences de chacun d'entre eux. La collaboration a donné lieu à un système préfabriqué robuste, facile à

manufacturer et possédant une esthétique et un attrait marqués par les composants en bois apparents dans les salles de classe. De plus, la performance structurale des éléments en bois massif a permis la réalisation de grandes ouvertures pour les fenêtres, améliorant de cette manière la luminosité naturelle des locaux.

Tableau 1 : Avantages et désavantages – Étape de conception.

Éléments facilitateurs	Éléments à améliorer
- La facilité de coordonner les différentes disciplines. - L'amélioration du produit par l'implication de corps professionnels externes (installateurs, architectes). - L'impact positif de la collaboration interne-externe sur le résultat final de la conception, car la majorité des problématiques ont été résolues avant que le produit soit fini et livré.	- Le besoin fréquent de clarifications sur le nouveau système constructif. - L'impact direct des changements de l'architecture sur le procédé et les coûts de fabrication. - Les retards dans l'approvisionnement de certains matériaux non ligneux dus aux changements en architecture ou en structure.



Figure 2 : Élévations latérales et modèle 3D Cadwork du projet « École Riverside ».

b. Fabrication

La fabrication des modules peut être séparée en trois parties : la fabrication des composantes en bois, l'approvisionnement des matériaux non structuraux et l'assemblage des modules. Ces trois éléments doivent avancer en complète coordination afin d'alimenter le processus à la bonne cadence et ainsi respecter l'échéancier d'installation.



Figure 3 : Différentes étapes de fabrication. À gauche, la structure. À droite, la finition extérieure et intérieure.

Tableau 2 : Avantages et désavantages – Étape de fabrication.

Éléments facilitateurs	Éléments à améliorer
- La fabrication complète sous conditions contrôlées (structure et finition extérieure et intérieure). - Le suivi exhaustif de la planification et des coûts de fabrication (structure et finition extérieure et intérieure).	- La fabrication des modules réalisée dans un espace partagé avec l'usinage de composants en CLT. - L'absence de l'effet de répétition, qui est généralement typique des constructions préfabriquées. - La difficulté d'approvisionnement en matériaux à cause des délais serrés et des changements de dernière minute dans la conception.

Certains des matériaux de construction ne se trouvent pas facilement à Chibougamau. Chaque changement de type de matériau entraînait un retard supplémentaire dans la fabrication. De la même manière, la disponibilité de matériaux dans les autres régions n'étant pas assurée, cela avait un impact sur la rapidité et la précision de l'approvisionnement.

c. Installation

Cette étape était cruciale pour la réussite du projet. En effet, la réalisation de cette étape a permis de constater les bénéfices des différents contrôles de production et de qualité qui ont eu lieu dans l'environnement contrôlé de l'usine. L'installation a été faite par une compagnie sous-traitante en étroite coordination avec le chargé de projet de fabrication.

Le terrain sur lequel les modules ont été installés avait été étudié au préalable. L'entrée au chantier de construction se trouvait à côté du bâtiment principal de l'école, sur une voie étroite. Dans ce cas, la taille des modules (c'est-à-dire, l'unité modulaire qui est transportée dans un camion) a facilité l'accès du véhicule au site de construction. Nonobstant cet élément favorable, la présence d'une installation électrique non repérée lors de l'analyse du site de construction (par photo aérienne et des plans) a entraîné la réalisation de plusieurs manœuvres d'alignement une fois dans le site de construction. La durée de l'installation des modules a été de trois jours. Les raccordements sur place ont pris deux journées supplémentaires.



Figure 4 : Vue aérienne de l'installation des modules de salle de classe de l'École Riverside.

Tableau 3 : Avantages et désavantages – Étape d'installation.

Éléments facilitateurs	Éléments à améliorer
- L'installation sur des trépieds amovibles, ce qui a permis un ajustement rapide et une mise à niveau facile. - La pré-finition en usine et connexion sur le chantier de construction. - La rigidité des modules en CLT, qui assure stabilité et maintient lors du transport. Aucune correction n'a dû être apportée à la finition après l'installation.	- La révision de la séquence d'installation due à l'obstacle d'un équipement électrique de grande dimension, repéré sur le site quelques jours avant l'installation. - Le retard d'installation causé par la complexité des manœuvres d'alignement du camion, contraint par la présence de l'équipement électrique. - Un raccordement entre le module vestiaire et les modules "salle de classe" a été construit sur place afin de connecter l'ensemble. Ce type de travail, lorsque le contrat le permet, pourrait être prévu pour réalisation en usine.

d. Mise en service

Une fois l'installation terminée, le mobilier a été installé et les différents services mécanique-électricité-plomberie (MEP) connectés aux réseaux respectifs. Différentes activités dont la vérification du fonctionnement des systèmes MEP et d'autres ajustements et vérifications ont eu lieu pour assurer le bon fonctionnement des nouveaux locaux. Les salles de classe étaient prêtes à recevoir les élèves et les professeurs/es à la suite de ce processus de mise en service de 4 à 5 jours.

L'installation des salles de classe ayant été faite vers la fin de l'été, des essais de thermographie et d'infiltrométrie ont été réalisés un peu plus tard pour voir la performance de l'enveloppe de la construction modulaire. Les résultats situent les salles de classe modulaire de notre compagnie entre les exigences de la certification « Passivhaus » et celles du programme « Novoclimat ».



Figure 5 : Mise en service des salles de classe modulaire et du vestiaire.

Tableau 4 : Avantages et désavantages – Étape de mise en service

Éléments facilitateurs	Éléments à améliorer
- L'installation des éléments MEP en usine, qui accélère de manière significative la mise en service. - L'utilisation très rapide des installations (ex. : déménagement du mobilier) permis par le niveau de finition atteint en usine.	- Le retard pour la mise en service causé par la construction sur place du raccordement entre le module « vestiaire » et les modules « salle de classe ».

3.5 Conclusions

- Le projet de l'École Riverside a été un succès et a permis de démontrer que la préfabrication en bois massif a sa place dans le marché de la construction. Ce projet a entraîné la livraison de plus de 37 salles de classe au Québec et la demande continue d'augmenter.
- La préfabrication doit profiter de l'effet de répétition afin de réduire les coûts et les délais. Dans le cas du projet de l'École Riverside, l'économie d'échelle n'a pas pu être mise à contribution.
- Les différents corps professionnels doivent être impliqués rapidement lorsqu'un nouveau projet modulaire débute (nouveaux matériaux et nouvelles dimensions). De cette manière, le nombre de conflits à régler ou à corriger diminuera significativement, du début jusqu'à l'étape finale de mise en service.

3.6 Retombées et rayonnement des solutions développées et potentiel de reproductibilité pour l'industrie

- Développement du premier système modulaire pour des salles de classe (Usage A2 – Établissements de réunion selon le code du bâtiment).
- Un système de construction qui atteint des performances énergétiques selon le programme "Novoclimat".
- Un système de construction plus concurrentiel lorsque comparé aux systèmes conventionnels (ossature légère en acier ou en bois).
- Le raffinement du processus multidisciplinaire (vente-conception-fabrication-installation-mise en service) de mise en marché de ce nouveau produit.

3.7 Recommandations

- Il faut s'assurer de la coordination permanente avec le client afin de confirmer que les hypothèses utilisées pour planifier l'installation sont toujours valides avant l'envoi des modules.
- Il est favorable de réduire au minimum les activités de fabrication sur le chantier de construction.

ANNEXE

**Infiltrométrie et thermographie de l'enveloppe verticale des bâtiments modulaires
à l'école primaire régionale Riverside de Jonquière**



Varenes, 15 décembre 2020

Madame Marie De Guire, architecte

Nordic Structures

100-1100, av. des Canadiens-de-Montréal

Montréal (Québec) H3B 2S2

Objet: Infiltrométrie et thermographie de l'enveloppe verticale des bâtiments modulaires
à l'école primaire régionale Riverside à Jonquière
n/d: M-4314-A

Madame De Guire,

Conformément au mandat que vous nous avez confié le 17 août 2020, nous avons réalisé les mesures d'infiltrométrie et le relevé thermographique de l'enveloppe verticale des bâtiments modulaires à l'école primaire régionale Riverside situés au 1770, rue Joule, à Jonquière (QC).

L'infiltrométrie avait pour objectifs de mesurer la quantité de fuites d'air incontrôlées par l'enveloppe du bâtiment. Ensuite, le relevé thermographique avait pour but de vérifier de façon qualitative la performance d'étanchéité à l'air de l'enveloppe verticale.

Ces interventions sur le site ont été réalisées dans la nuit du 19 au 20 novembre 2020, par Alexandre Pereda, ing. et thermographe niveau 2, ainsi que Sophie Guay, ing., tous deux de la firme Solutions d'affaires UL Canada inc. (UL).

1.0 PORTÉE LIMITE DU DOCUMENT

La présente lettre-rapport présente les résultats de l'infiltrométrie et de l'analyse thermographique ainsi que le contexte et la méthodologie mise en place pour la réalisation de ces analyses.

Elle ne porte ni sur la conformité des ouvrages existants aux codes en vigueur ni sur l'identification de moisissures, d'amiante ou d'autres contaminants. Le document exclut aussi toute étude de nature structurale ou de mécanique du bâtiment.

Les analyses exposées dans cette lettre-rapport se basent sur des relevés thermographiques réalisés dans un temps donné, en période automnale, à des endroits ciblés. Elles sont valables dans la mesure où les conditions relevées lors de ces relevés thermographiques sont représentatives des conditions générales que l'on retrouve dans les murs extérieurs.

Ce document a été préparé pour les seules fins du destinataire et ne constitue pas un rapport d'expertises pouvant servir, éventuellement, de preuve technico-légale devant le tribunal.

MONTRÉAL

Siège social Canada
1320, boul. Lionel-Boulet
Varenes, QC J3X 1P7
montreal@cleb.com

T: 855.353.2532 W: ul.com/enveloppedubatiment

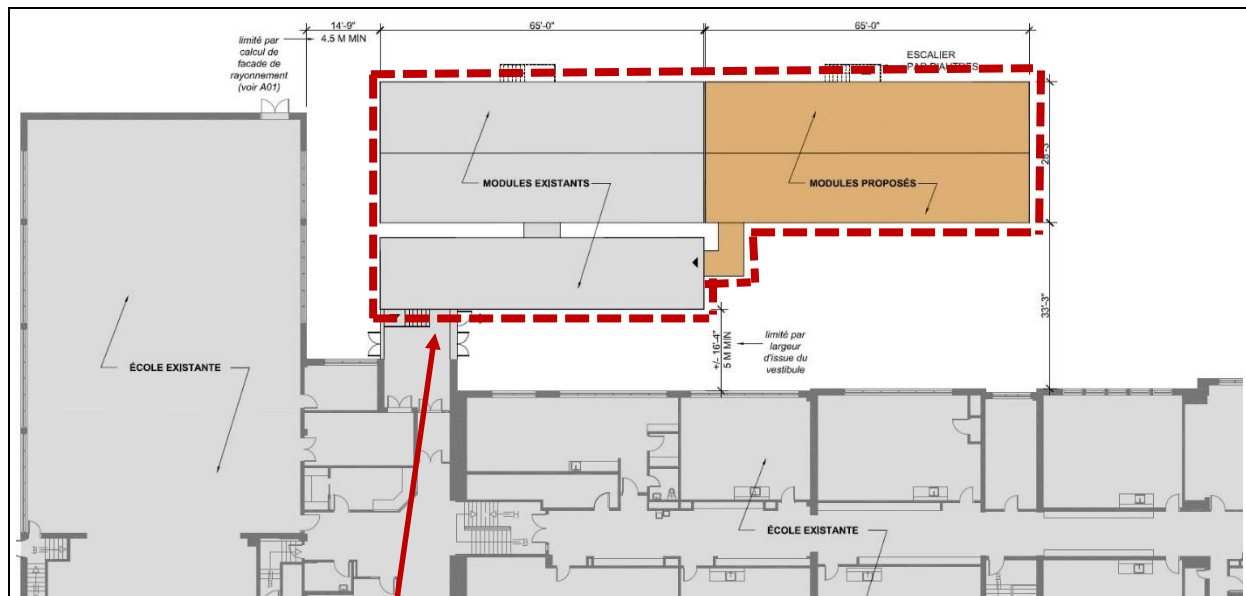
2.0 ESSAI D'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR (INFILTROMÉTRIE)

L'évaluation technique de l'étanchéité à l'air a été réalisée par Sophie Guay, ing., selon la procédure d'essai normalisé ASTM E779-03 intitulée "Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization".

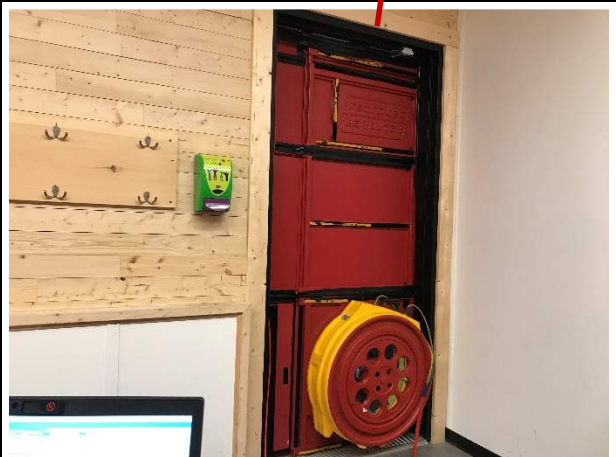
Cette évaluation technique consiste à pressuriser ou dépressuriser le bâtiment, ou la section de bâtiment à l'étude, sous une pression maximale de 60 Pa à l'aide d'un ventilateur portatif et d'en mesurer le débit.

2.1 Infiltrométrie globale des modules

Une infiltrométrie globale des modules (P1) a été réalisée à l'aide d'un ventilateur portatif permettant d'en mesurer le débit (P2). Pour cette évaluation, le volume considéré pour le bâtiment était de 1 449 m³.



P1: Plan de localisation



P2: Ventilateur portatif.

Tableau 1 – Résultat de l'infiltrométrie (19 novembre 2020)

Surface de fuites équivalente à 4 Pa (cm ²)	293,0 cm ²
Débit à 50 Pa (L/s)	392,40 L/s
Surface de fuites équivalente à 10 Pa (cm ²)	552,0 cm ²
Changement d'air par heure à 50 Pa (CAH@50)	0,98

3.0 THERMOGRAPHIE

Le relevé thermographique a été effectué durant la nuit pour éviter les interférences pouvant être causées par les gains de chaleur par radiation solaire. Le relevé de thermographie extérieur en régime de pression positive a été effectué après un délai de plus de deux (2) heures sans ensoleillement direct des façades du bâtiment, ce afin de laisser le temps aux parements métalliques et autre parement léger de se décharger de l'énergie solaire emmagasinée. Pendant le relevé thermographique, le ciel était généralement couvert. Des précipitations de neige très légères ont été enregistrées dans les 24 heures précédant le relevé sans incidence sur la qualité du relevé thermographique.

Tableau 2 - Sommaire des conditions climatiques lors du relevé thermographique

	Température	Humidité relative	Vents	Pression atmosphérique
Conditions extérieures	-4 °C	± 90 %	13 km/h ESE	99,7 kPa

	Température	Humidité relative	Différentiel de pression	
			Relevé en pression négative	Relevé en pression positive
Conditions intérieures	± 20°C	±25 %	-50 Pa	+50 Pa

Les relevés thermographiques visent, entre autres, à vérifier qualitativement l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Ils ont été réalisés en s'inspirant de la procédure normalisée ASTM E1186 « *Standard Practices for Air Leakage Site Detection in Building Envelopes and Air Barrier Systems* »¹. Voir l'annexe 3 à cet effet.

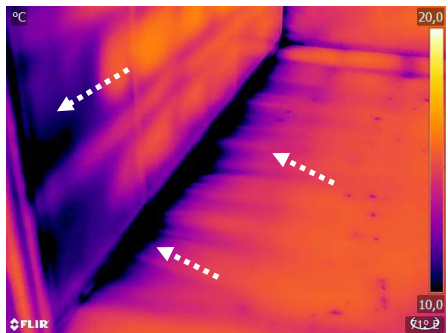
Le relevé thermographique a été réalisé en deux (2) étapes, en dépressurisant et en pressurisant le bâtiment. Les niveaux de pression atteints sont indiqués au tableau 1. Des ventilateurs portatifs fournis et opérés par UL ont servi à l'application des différentiels de pressions requis.

3.1 Résultats du relevé thermographique

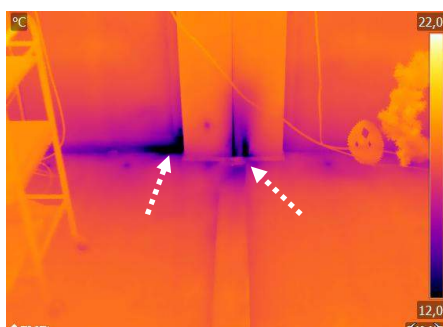
¹ Ces procédures normalisées ont servi à établir les paramètres essentiels à la réalisation de la thermographie, tels que la présence d'un différentiel de température et de pression de part et d'autre de l'enveloppe, l'atteinte d'un état stable de transfert thermique avant la prise d'images thermiques et d'autres paramètres de l'environnement à prendre en compte dans l'analyse thermographique.

Le relevé thermographique a permis de relever la présence de mouvements d'air à travers l'enveloppe verticale du bâtiment, notamment aux endroits suivants :

Tableau 3 – Anomalies thermiques – Fuites d'air

Constats/anomalies thermiques	Localisation/réurrence/remarques	Thermogrammes à titre d'exemple
A – Mouvements d'air au sas qui font la jonction entre les bâtiments modulaires	Les fuites d'air les plus importantes se retrouvent dans les portions du bâtiment construites sur le site et qui servent à faire les liens entre les différents bâtiments modulaires. Les fuites d'air sont présentes dans les sas des phases 1 et 2 des bâtiments modulaires et affectent les jonctions mur/mur, les jonctions mur/plafond et les jonctions mur/ plancher, Il est important de noter que les fuites d'air observées par le sas principal (T-4 et T-47) qui fait la liaison entre l'école existante et les classes modulaire ne sont pas comptabilisées dans la quantification des fuites globales par infiltrométrie.	 Thermogramme T-42 ($\Delta P+$)
		 Thermogramme T-127 ($\Delta P-$)
		 Thermogramme T-92 ($\Delta P-$)

Constats/anomalies thermiques	Localisation/réurrence/remarques	Thermogrammes à titre d'exemple
B – Mouvements d'air au périmètre des fenêtres	Plusieurs fuites d'air d'envergure variable (mineure à majeures) sont présentes au périmètre des assemblages de fenêtre. Ces fuites d'air indiquent une discontinuité du plan d'étanchéité à l'air entre le cadre de la fenêtre et le mur. Les fuites de ce type les plus importantes se trouvent dans les classes P1 et P2 de la 1^{re} phase.	 Thermogramme T-63 (ΔP-)
C – Mouvements d'air à l'intérieur des assemblages de fenêtre.	Des fuites d'air sont également répertoriées à l'intérieur des assemblages de fenêtre et plus spécifiquement par les volets ouvrants. Ce type d'assemblage est plus permissif en ce qui concerne l'étanchéité à l'air, toutefois, dans certains cas ces volets sont mal ajustés et ne ferme pas correctement (T-28 et T-104).	 Thermogramme T-28 (ΔP+)
D – Mouvements d'air et conduction typique par les portes	Les portes et encadrements constituent thermiquement un point faible de l'enveloppe verticale. On perçoit, de manière généralisée, des pertes thermiques par conduction qui sont plus importantes dans les assemblages de porte. Des exfiltrations d'air directes sont aussi visibles aux périmètres des portes, par les coupe-froids. Des fuites sont également présentes dans l'assemblage même de la porte (T-18 et T-30)	 Thermogramme T-318 (ΔP+)
E – Mouvements d'air aux percements électriques	Quelques fuites d'air pourraient être directement attribuables à des percements de l'enveloppe pour des services électriques : - Entrée électrique (T-7); - Panneaux électriques (T-55, T-59, T-85); - Prise électrique ou autre (T-75); - Plinthe de chauffage (T-87); - Luminaire (T-118); - Plinthe de chauffage (T-87);	 Thermogramme T-7 (ΔP+)

Constats/anomalies thermiques	Localisation/réurrence/remarques	Thermogrammes à titre d'exemple
F – Mouvements d'air mineurs aux joints d'assemblage des modules préfabriqués	Des fuites d'air ponctuelles sont identifiées aux joints de raccordement des modules qui composent les classes. On retrouve certaines fuites mineures à la base des colonnes et parfois autour de la connexion de la poutre au mur.	 Thermogramme T-61 (ΔP-)  Thermogramme T-77 (ΔP-)

Les thermogrammes en exemples dans le tableau représentent un échantillonnage de chaque type d'anomalie thermique répertoriée lors du relevé thermographie. L'annexe 1 doit être consultée pour connaître l'envergure et l'emplacement de l'ensemble des mouvements d'air détectés qui sont présentés sur tous les thermogrammes pertinents à cette étude. La localisation des thermogrammes a été reportée sur les plans du bâtiment à l'annexe 2.

4.0 CONCLUSIONS

Étanchéité à l'air du bâtiment

La réglementation en vigueur pour ce bâtiment (CCQ 2010) ne possède pas d'exigence quant à un taux acceptable de fuites d'air pour un ensemble de matériaux pare-air ou encore pour l'ensemble de l'enveloppe du bâtiment.

La mesure du taux de fuites d'air obtenue par infiltrométrie sur les bâtiments modulaires à l'école Riverside peut toutefois être comparée avec différentes valeurs de taux de fuites en référence dans des programmes volontaires d'efficacité énergétique dans les bâtiments neufs ainsi que des valeurs de références publiées par certains organismes tels que l'ASHRAE.

Tableau 4 – Mesure du taux de fuite et valeurs de comparaison

Valeur de comparaison	CAH@50 Pa
ASHRAE 90.1 bâtiment à faible étanchéité	7,90
ASHRAE 90.1 bâtiment moyennement étanche	3,90
ASHRAE 90.1 bâtiment étanche	1,30
Novoclimat pour petit bâtiment	1,50
Passivhaus (norme européenne)	0,60

Taux de fuite mesuré pour les bâtiments modulaires à l'école Riverside	0,98
---	-------------

Le taux de fuites mesuré pour les bâtiments modulaires représente un résultat appréciable par rapport aux exigences des programmes d'efficacité énergétique locaux. Ce résultat est encore loin des valeurs recherchées par un programme qui met l'accent sur l'étanchéité à l'air tel que le programme Passivhouse.

La thermographie, réalisée en parallèle de l'infiltrométrie, a permis d'identifier et de localiser de manière qualitative des discontinuités du système pare-air. Les fuites identifiées relèvent pour la plupart de défauts dans la réalisation de travaux d'étanchéité réalisés sur le site dont les plus importants sont concentrés aux sas qui lient les différents espaces modulaires ainsi que les portes et fenêtres insérés dans les modules. Les résultats de la thermographie indiquent clairement les emplacements où des correctifs peuvent être apportés s'il est souhaité d'améliorer le niveau d'étanchéité global du bâtiment.

Également, des corrections pourraient être souhaitables dans le but de réduire l'ampleur de certaines concentrations de fuite d'air qui pourraient représenter un risque éventuel de détérioration des assemblages de l'enveloppe par des infiltrations d'eau ou par la formation de condensation. Il faut considérer que les fuites d'air identifiées par thermographie indiquent une défaillance de la membrane pare-air; cette même membrane qui reprend la fonction de pare-eau dans la composition murale type. Une analyse plus approfondie des détails d'assemblage au droit de chaque fuite d'air est donc requise pour évaluer le risque d'infiltration d'eau associé. L'atteinte d'une étanchéité à l'air parfaite n'est pas l'objectif de ces correctifs. Il peut y exister certaines tolérances présentes dans tous les bâtiments, quant à l'exécution des travaux d'étanchéité. Dans le cadre de ces travaux,

il faut cependant s'attendre à un respect des règles de l'art et à la réalisation des détails selon la conception architecturale.

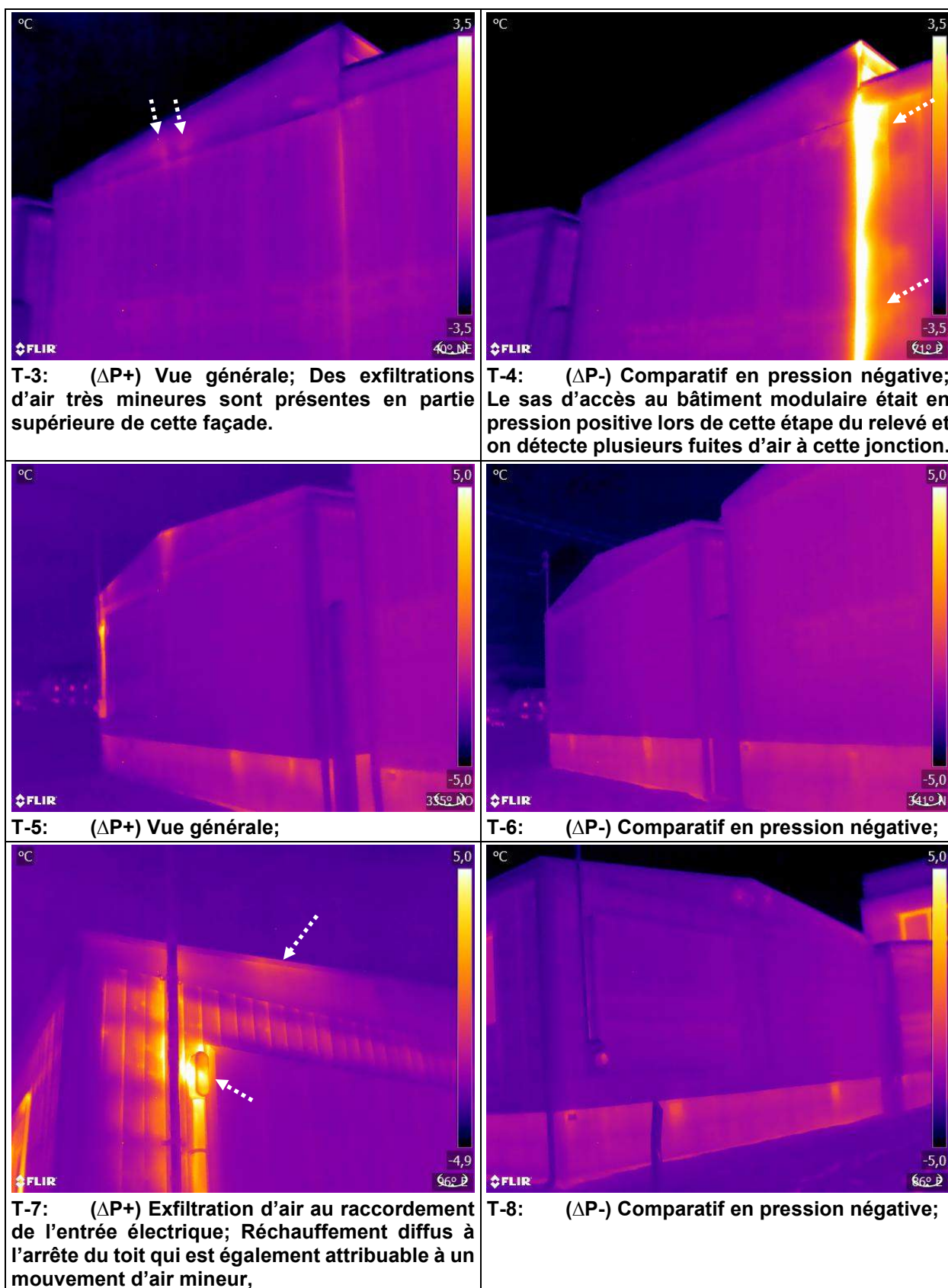
Nous vous remercions de la confiance témoignée et demeurons à votre entière disposition pour toute information additionnelle jugée utile, et vous prions d'agréer l'expression de nos sentiments les plus distingués.

Alexandre Pereda, ing., Thermographe niveau 2
Chargé de projets
Solutions d'affaires UL Canada inc.

Annexe 1 - Thermogrammes

Relevé thermographique de l'enveloppe verticale	
Bâtiment	Bâtiments modulaires à l'école Riverside
Date	Nuit du 19 au 20 novembre 2020
Conditions extérieures	
Température	-4 °C
Humidité relative	90 %
Vents moyens au sol	13 km/h ESE
Pression atmosphérique	99,7 kPa
Conditions intérieures	
Température	20°C
Humidité relative	±25%
Différentiels de pression induits entre l'intérieur et l'extérieur durant l'essai	
Relevé en dépressurisation des espaces intérieurs (ΔP -)	Relevé en pressurisation des espaces intérieurs (ΔP +)
-50 Pa	+50 Pa

Relevé thermographique extérieur	
 T-1: (ΔP+) Vue générale;	 T-2: (ΔP-) Comparatif en pression négative;





T-9: ($\Delta P+$) Réchauffements ponctuels à proximité du faite de toit indiquant un manque d'étanchéité à l'air ponctuel au joint d'assemblage de modules préfabriqué

Voir T-8 pour comparatif en pression négative;



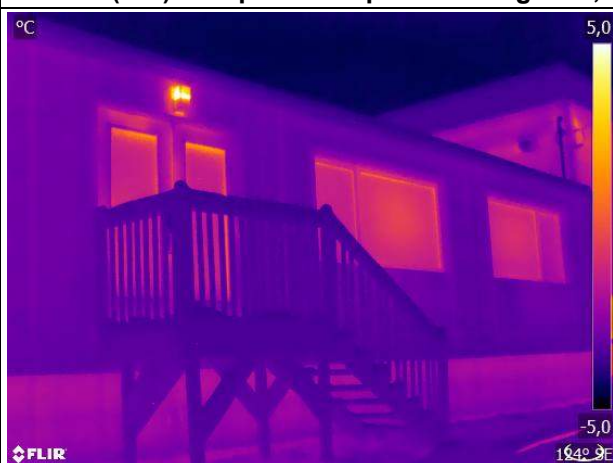
T-10: ($\Delta P+$) Vue générale



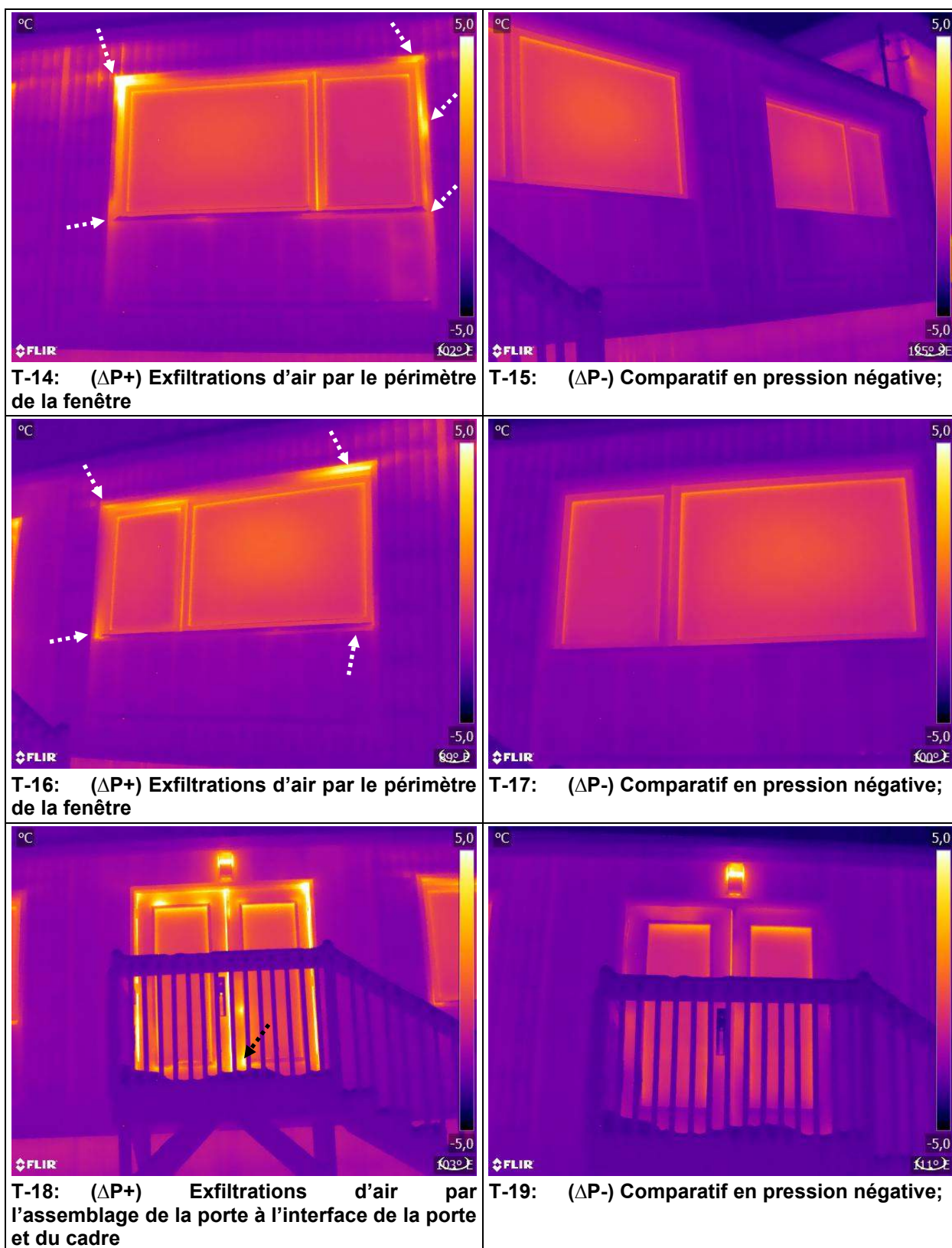
T-11: ($\Delta P-$) Comparatif en pression négative;

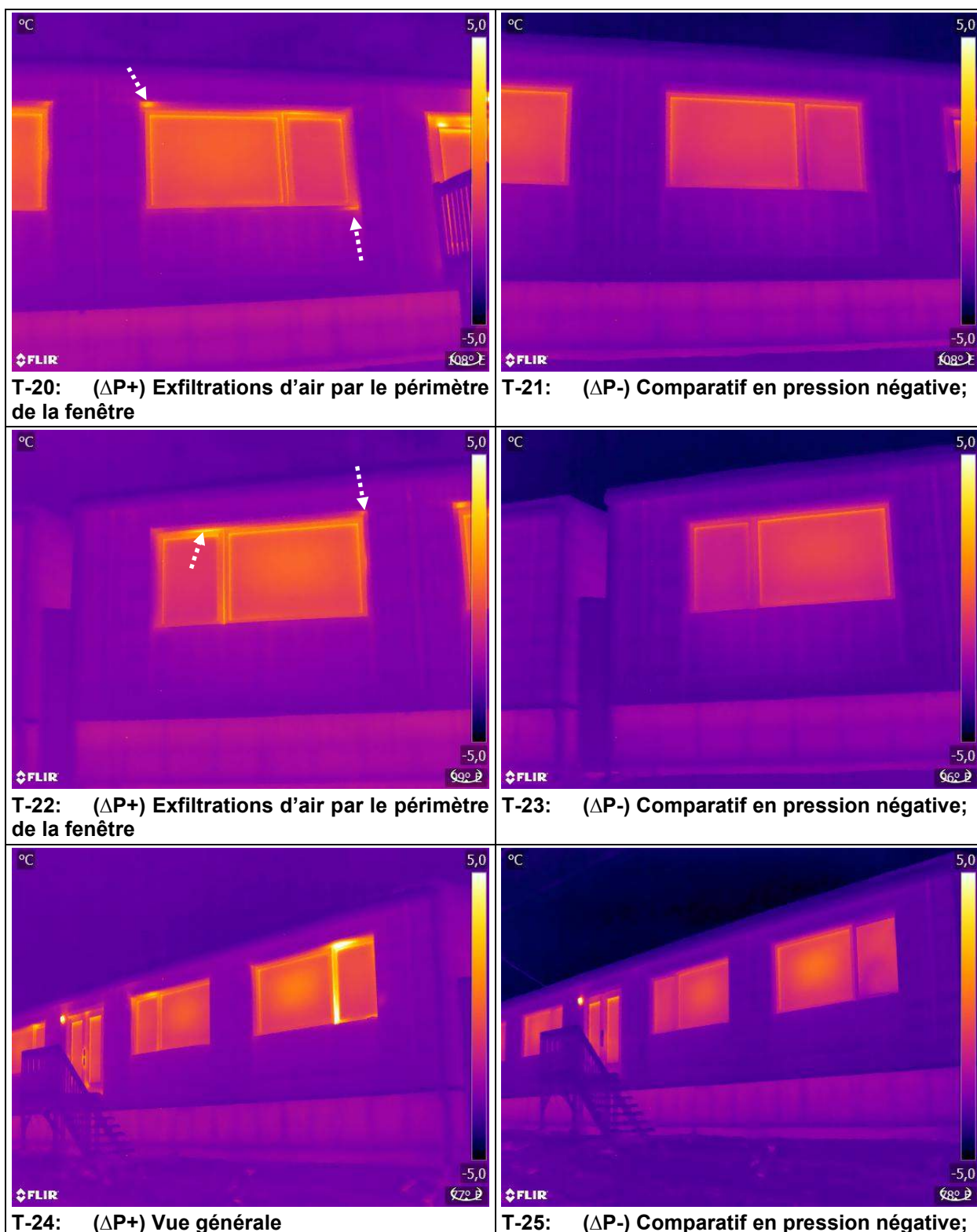


T-12: ($\Delta P+$) Vue générale

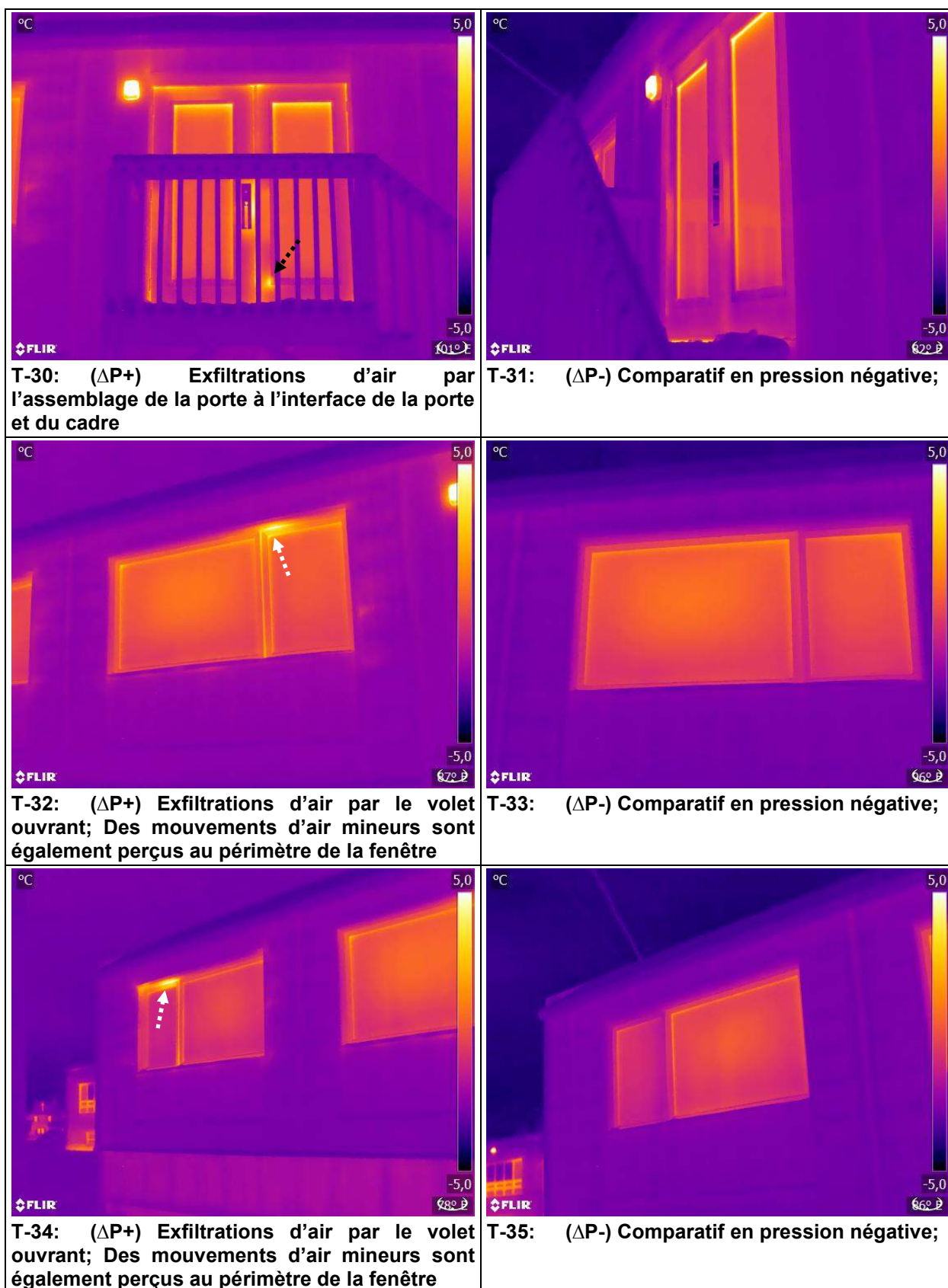


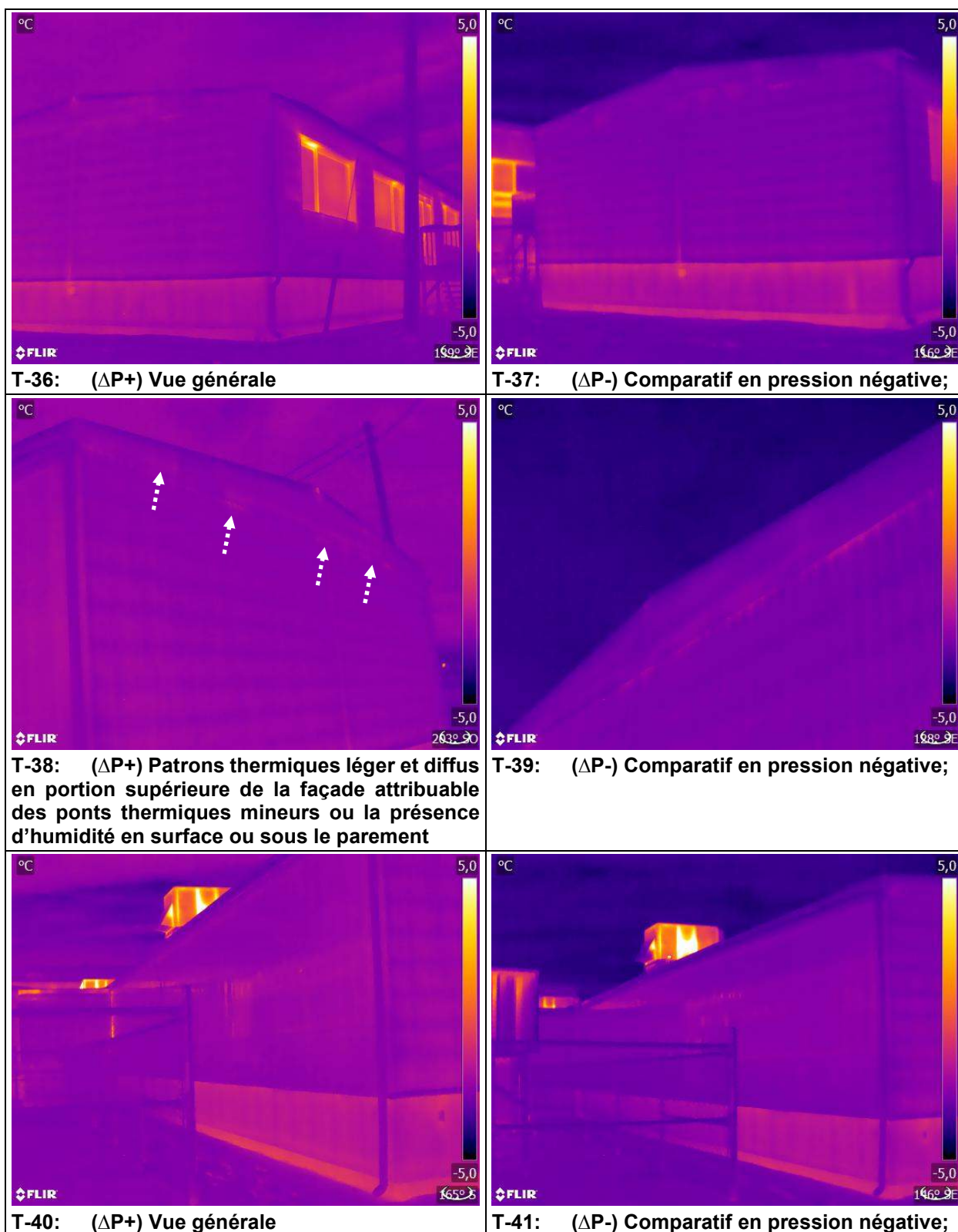
T-13: ($\Delta P-$) Comparatif en pression négative;

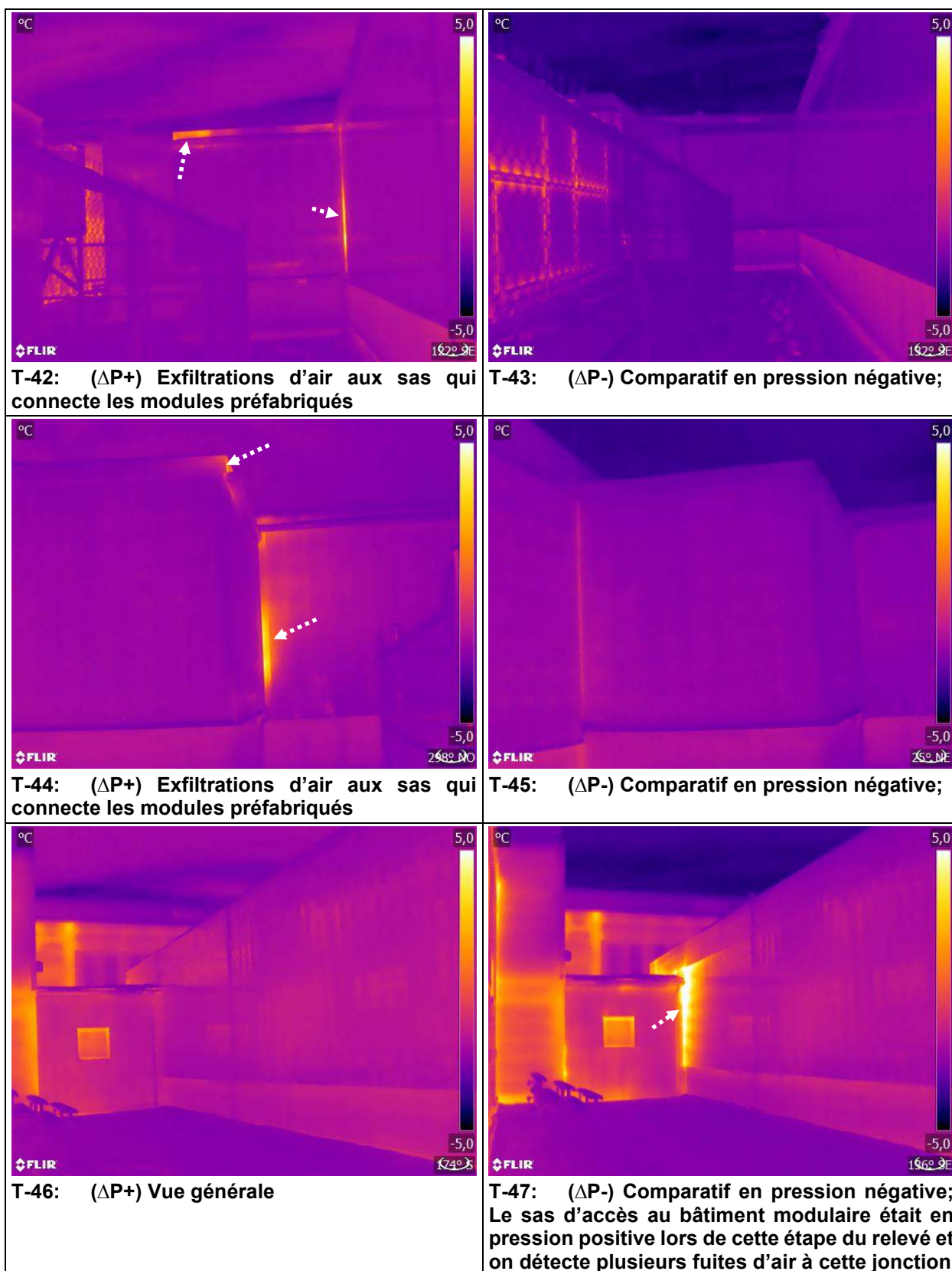


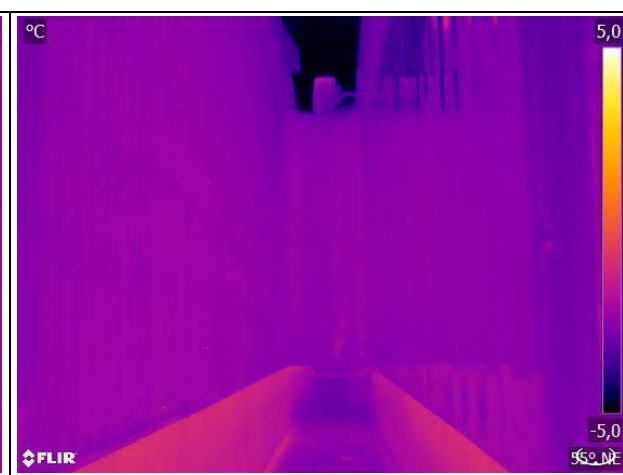
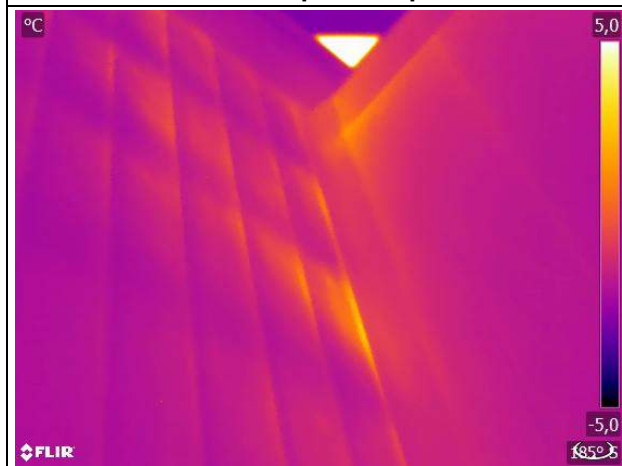


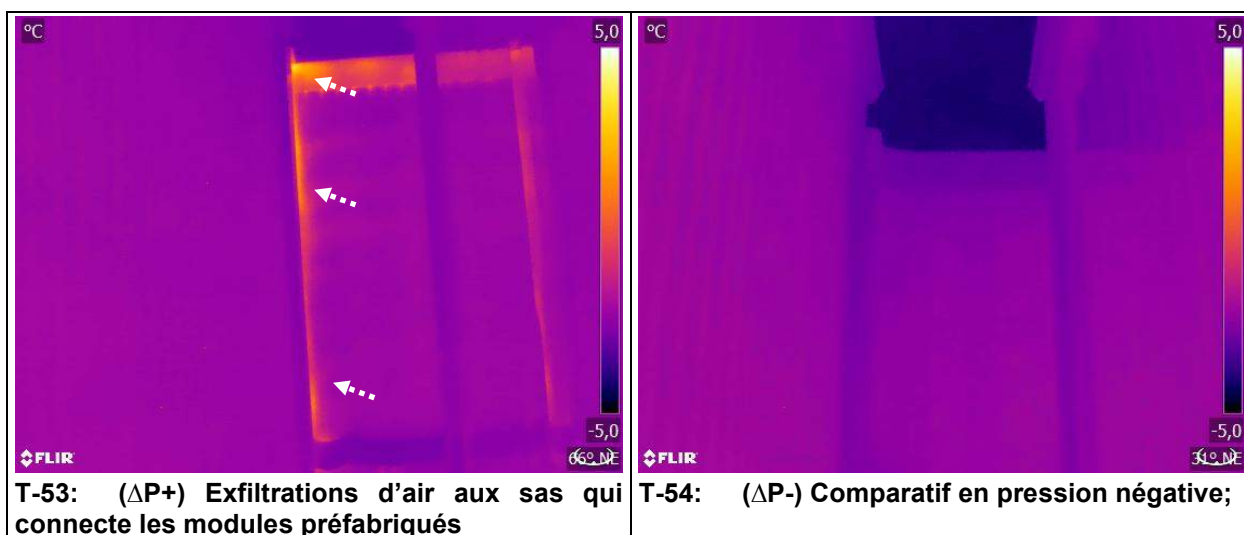
	
T-26: (ΔP+) Vue générale	T-27: (ΔP-) Comparatif en pression négative;
	Voir T-25 pour comparatif en pression négative;
T-28: (ΔP+) Exfiltrations d'air par le volet ouvrant (volet mal fermé et mal ajusté); Des mouvements d'air mineurs sont également perçus au périmètre de la fenêtre	
	Voir T-25 pour comparatif en pression négative;
T-29: (ΔP+) Exfiltrations d'air par le volet ouvrant; Des mouvements d'air mineurs sont également perçus au périmètre de la fenêtre	



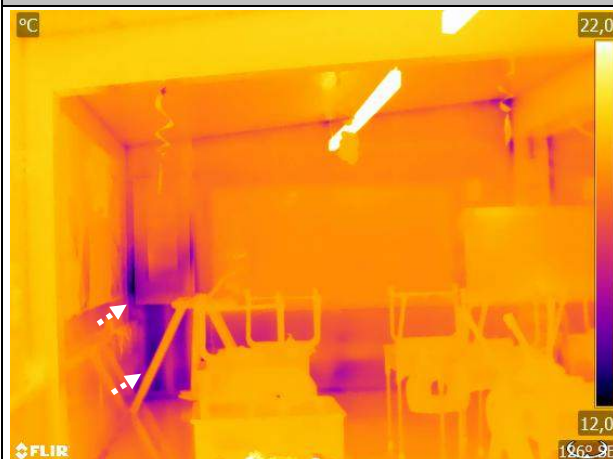




	
T-48: ($\Delta P+$) Exfiltrations d'air aux sas qui connecte les modules préfabriqués	T-49: ($\Delta P-$) Comparatif en pression négative;
	Voir T-49 pour comparatif en pression négative;
T-50: ($\Delta P+$) Exfiltrations d'air aux sas qui connecte les modules préfabriqués	
	
T-51: ($\Delta P+$) Exfiltrations d'air aux sas qui connecte les modules préfabriqués	T-52: ($\Delta P-$) Comparatif en pression négative;



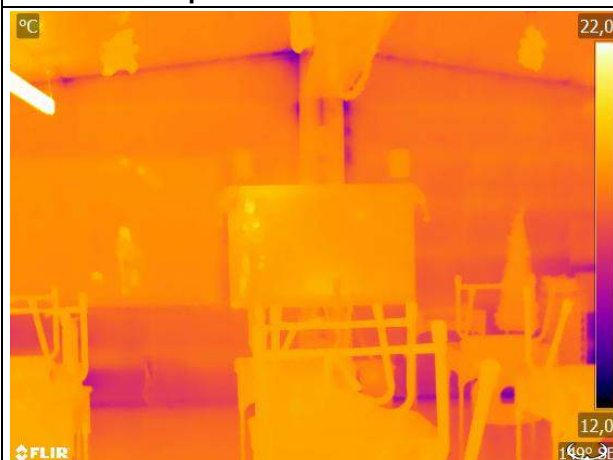
Relevé thermographique intérieur Modules A et B (classes P1 et P2)



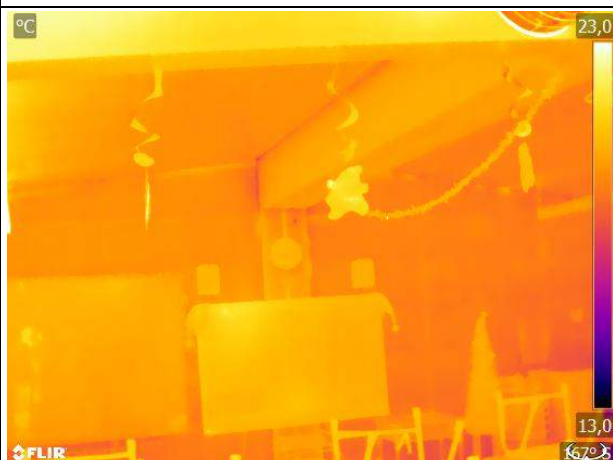
**T-55: (ΔP-) Vue générale classe P1;
Mouvement d'air important au coin du mur
et dans le panneau inséré au mur**



T-56: (ΔP+) Comparatif en pression positive;



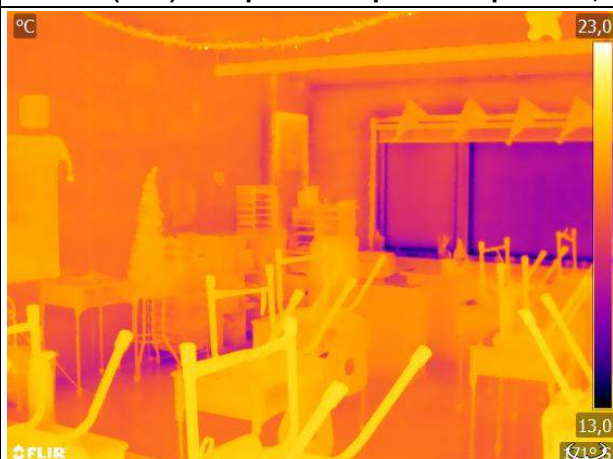
T-57: (ΔP-) Vue générale classe P1



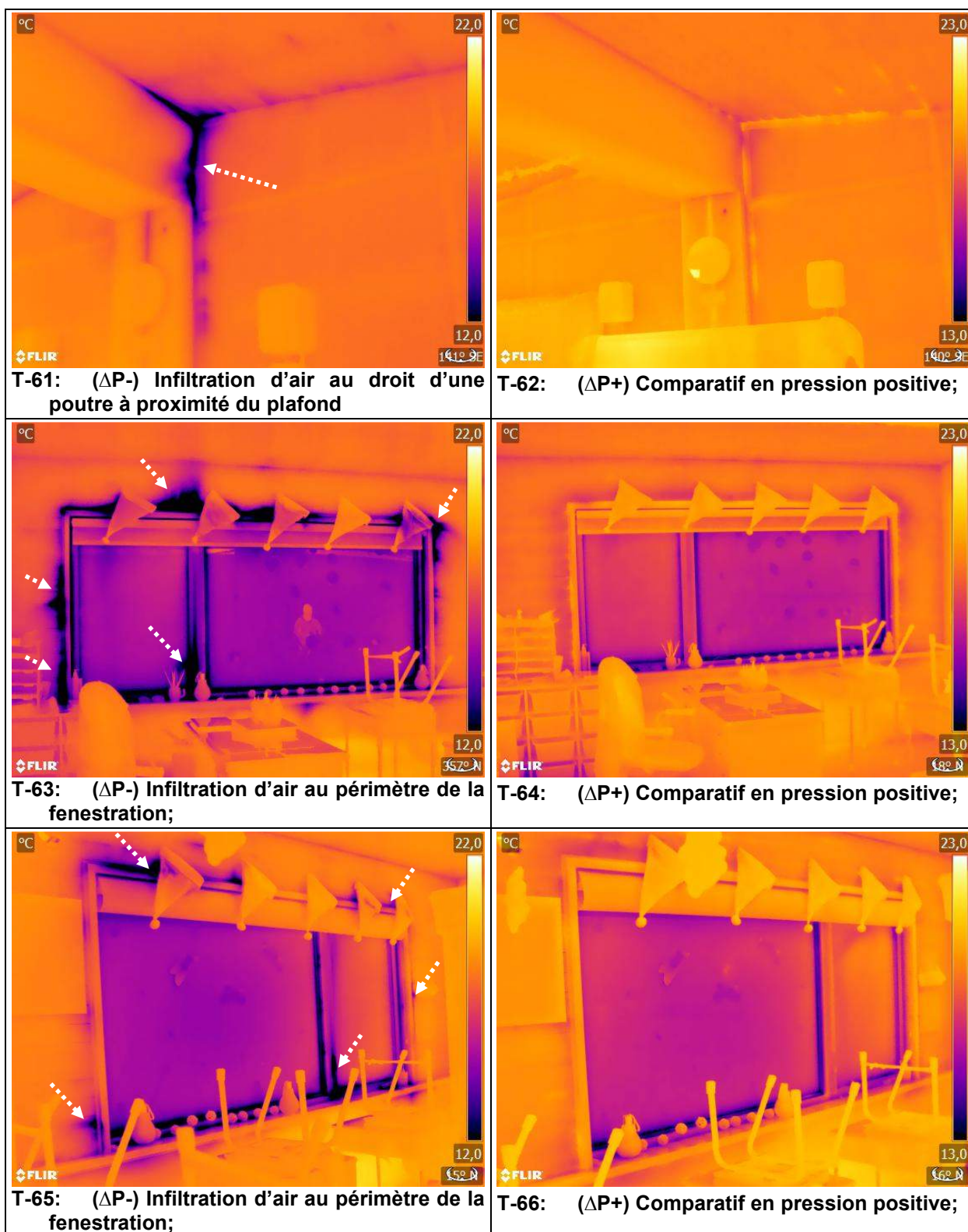
T-58: (ΔP+) Comparatif en pression positive;

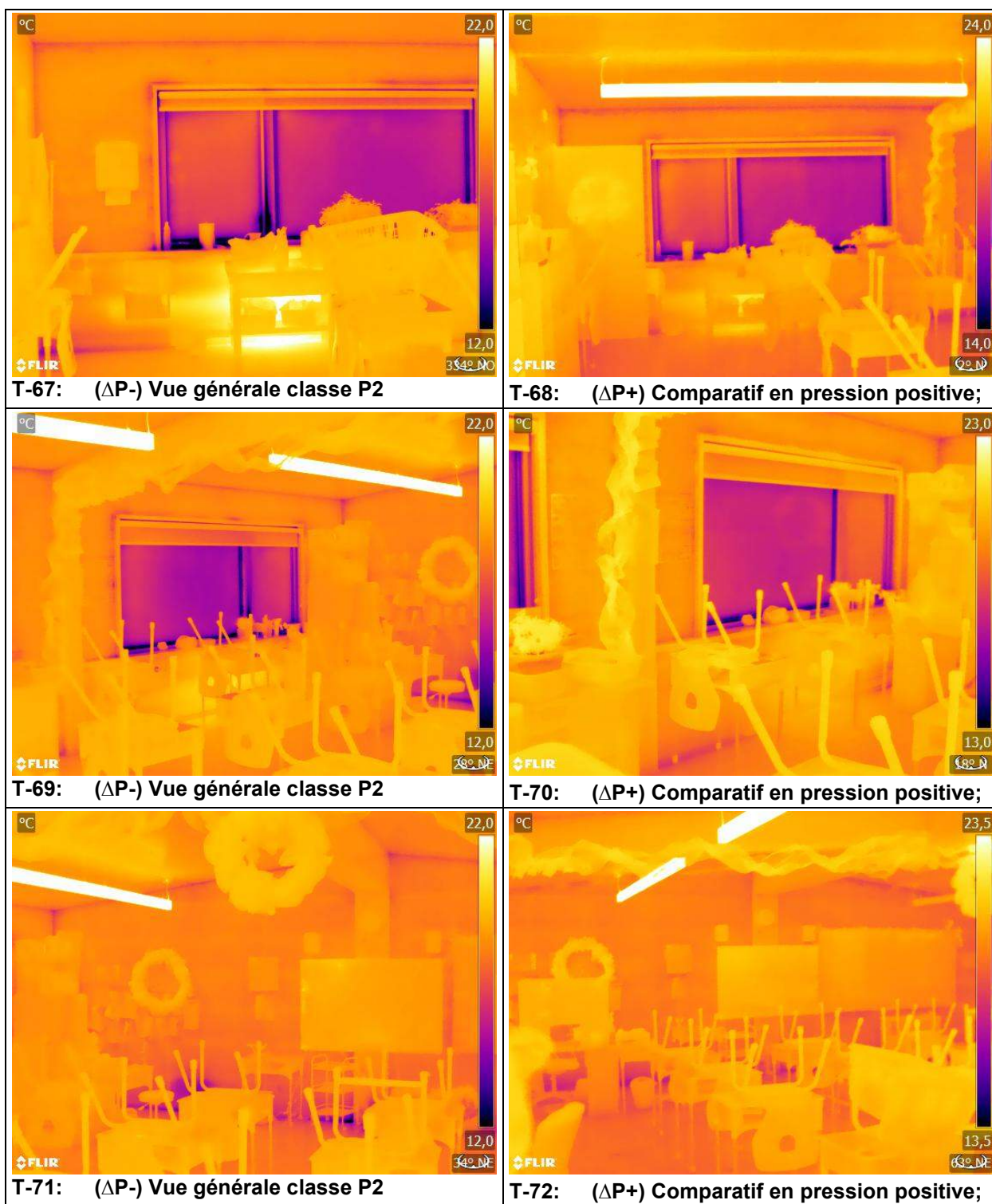


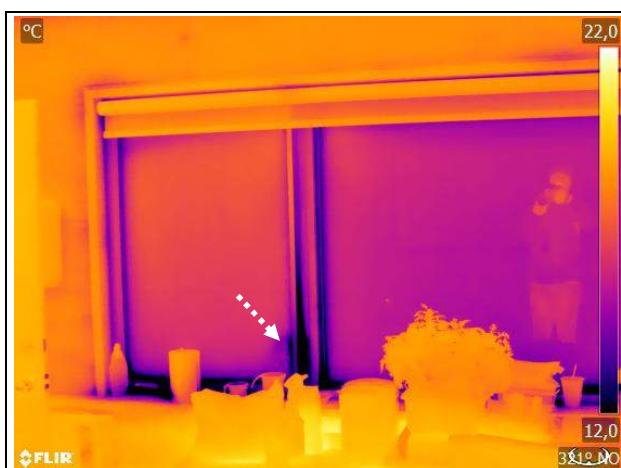
**T-59: (ΔP-) Vue générale classe P;
Mouvement d'air important au coin du mur et
dans le panneau inséré au mur**



T-60: (ΔP+) Comparatif en pression positive;

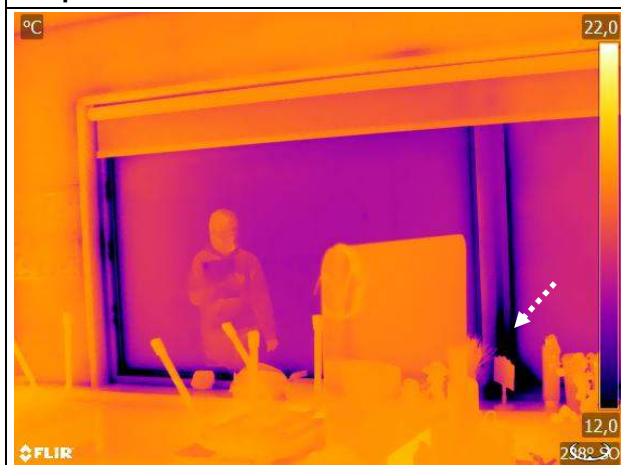






T-73: (ΔP -) Infiltrations d'air mineures au périmètre de la fenestration; Infiltration d'air par le volet

Voir T-68 pour comparatif en pression positive;



T-74: (ΔP -) Infiltration d'air par le volet

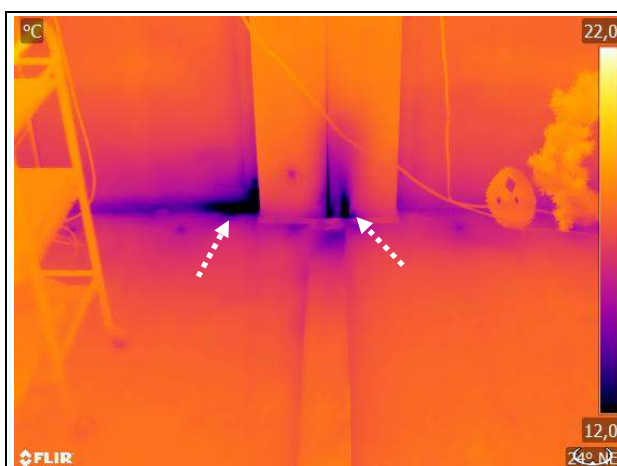
Voir T-70 pour comparatif en pression positive;



T-75: (ΔP -) Infiltration d'air à la base du mur



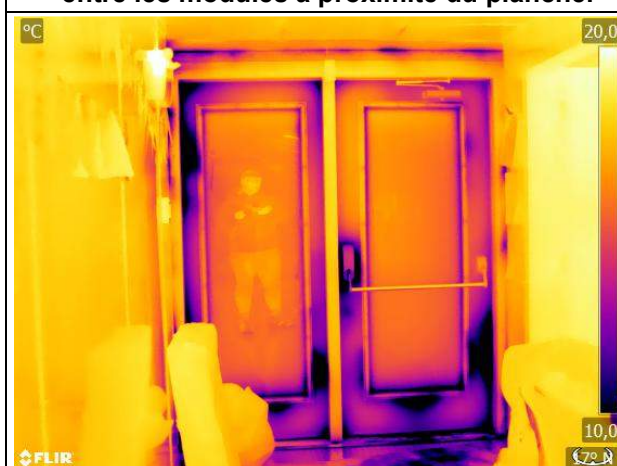
T-76: (ΔP +) Comparatif en pression positive;



T-77: (ΔP^-) Infiltration d'air mineure au joint entre les modules à proximité du plancher



T-78: (ΔP^+) Comparatif en pression positive;

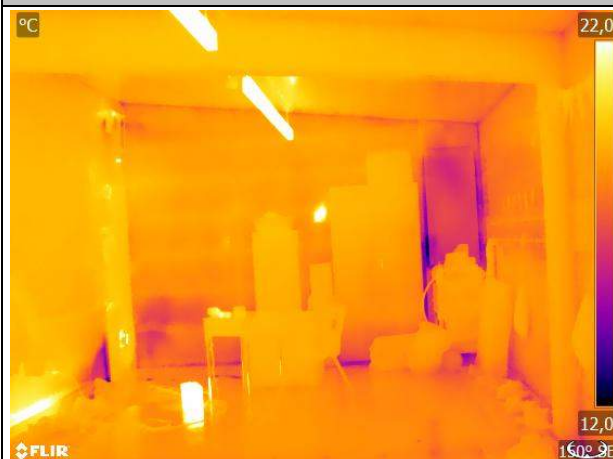


T-79: (ΔP^-) Infiltration d'air par l'assemblage de la porte ainsi qu'au périmètre du cadre. Certains refroidissements sont attribuables à des pertes thermiques par conduction;



T-80: (ΔP^+) Comparatif en pression positive;

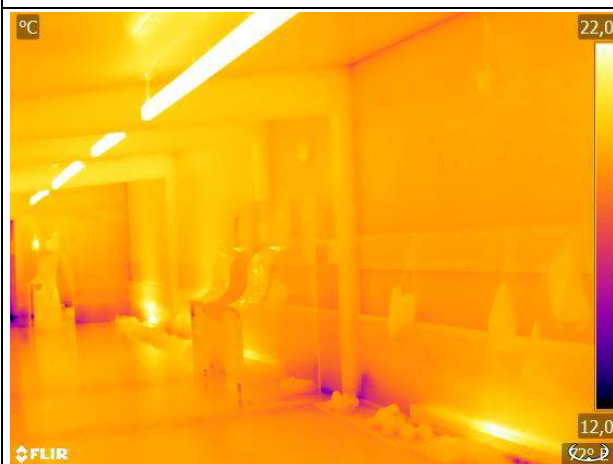
Relevé thermographique intérieur Module C (salle polyvalente)



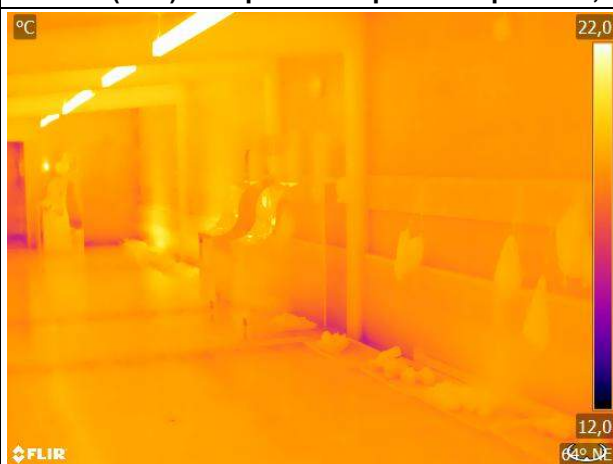
T-81: (ΔP-) Vue générale (vestiaires);



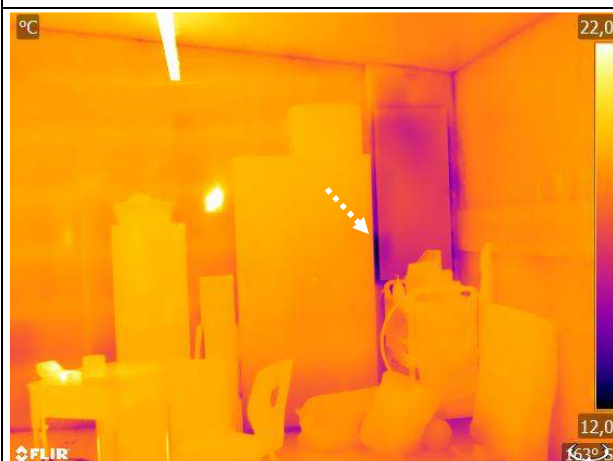
T-82: (ΔP+) Comparatif en pression positive;



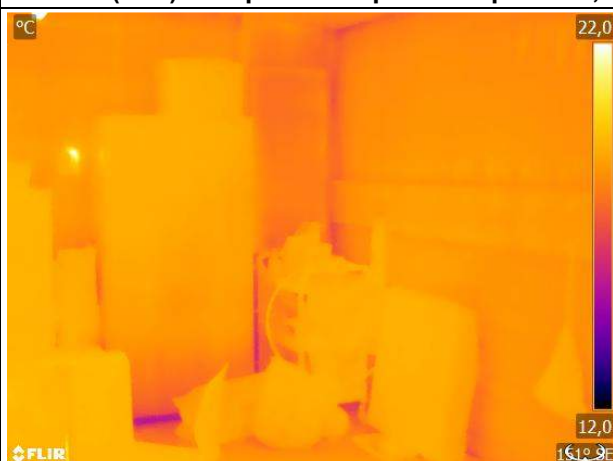
T-83: (ΔP-) Vue générale (vestiaires)



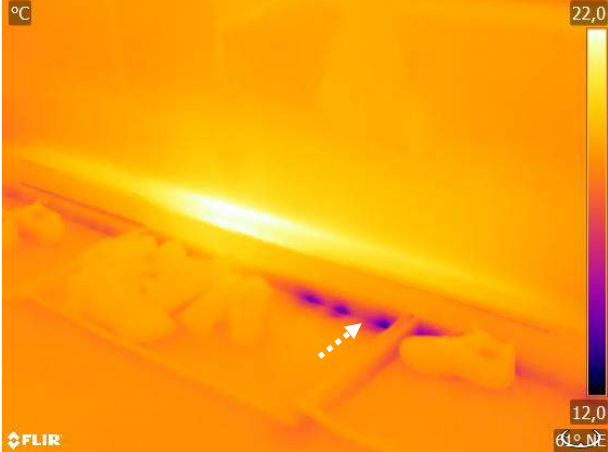
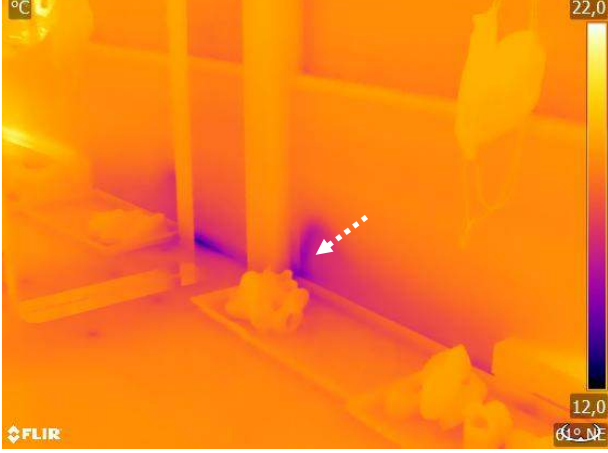
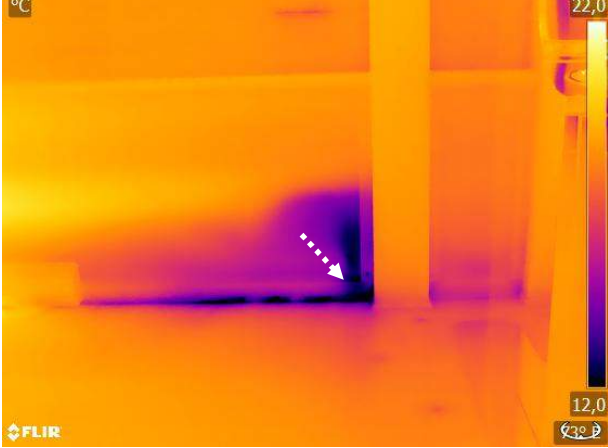
T-84: (ΔP+) Comparatif en pression positive;

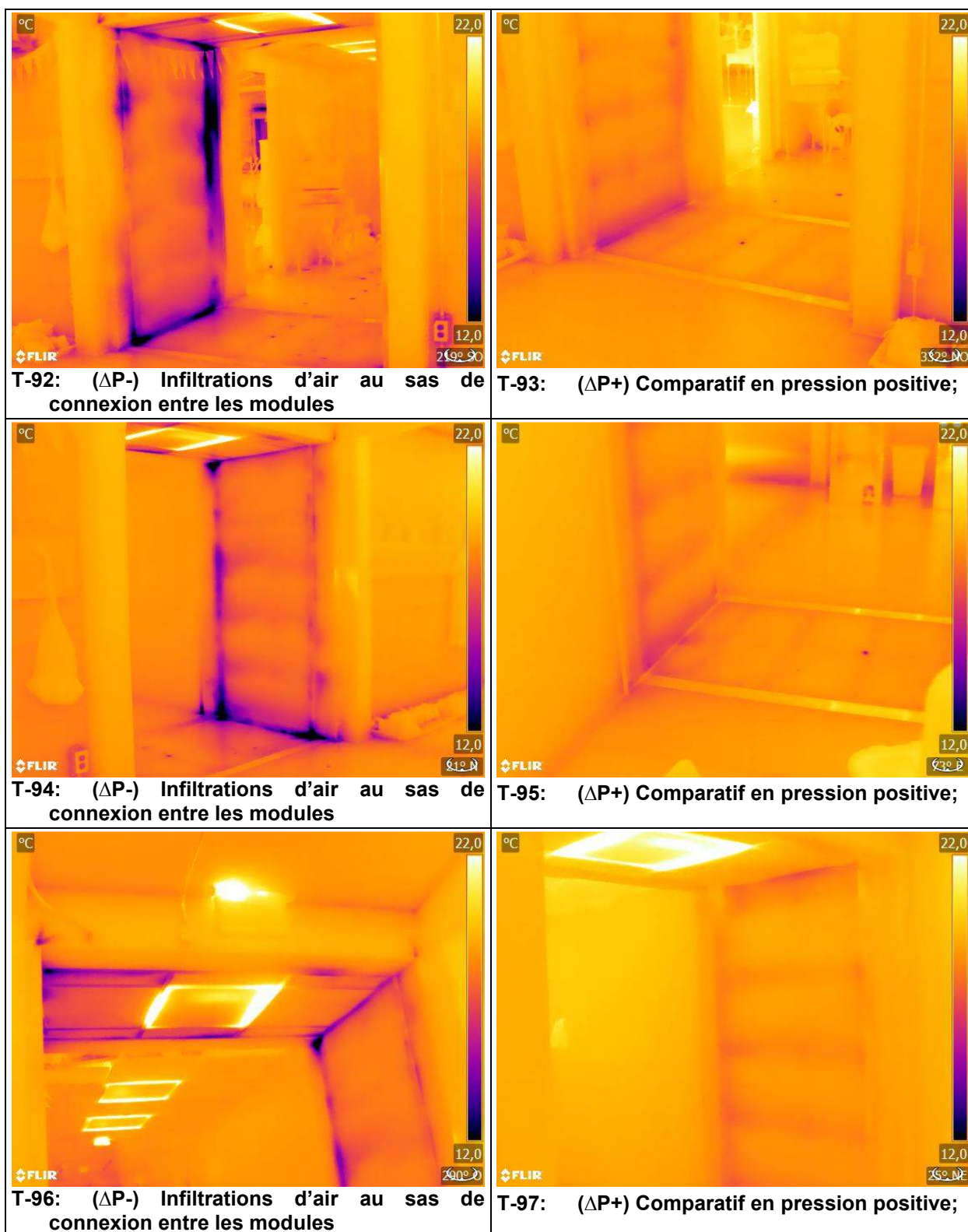


T-85: (ΔP-) Mouvements d'air dans un panneau au mur extérieur



T-86: (ΔP+) Comparatif en pression positive;

 T-87: (ΔP-) Infiltration d'air mineure au droit d'un équipement de chauffage	Voir T-84 pour comparatif en pression positive;
 T-88: (ΔP-) Infiltration d'air au droit d'une colonne à proximité du plancher	 T-89: (ΔP+) Comparatif en pression positive;
 T-90: (ΔP-) Infiltration d'air au droit d'une colonne à proximité du plancher	 T-91: (ΔP+) Comparatif en pression positive;



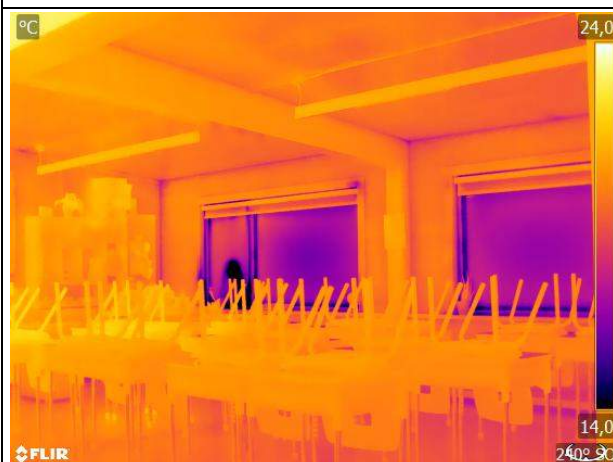
Relevé thermographique intérieur Modules ajoutés (classes P3 et P4)



T-98: (ΔP-) Vue générale classe P3



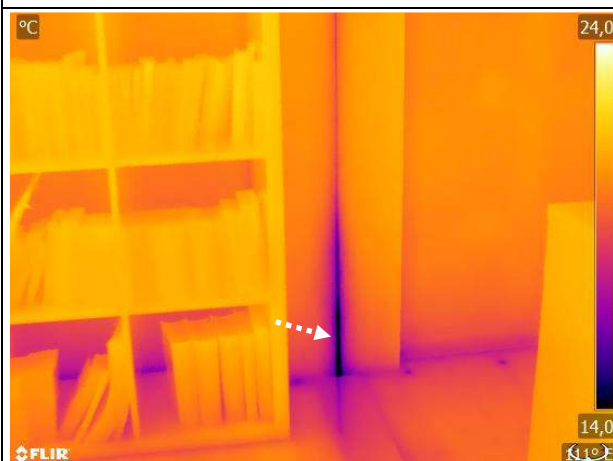
T-99: (ΔP+) Comparatif en pression positive;



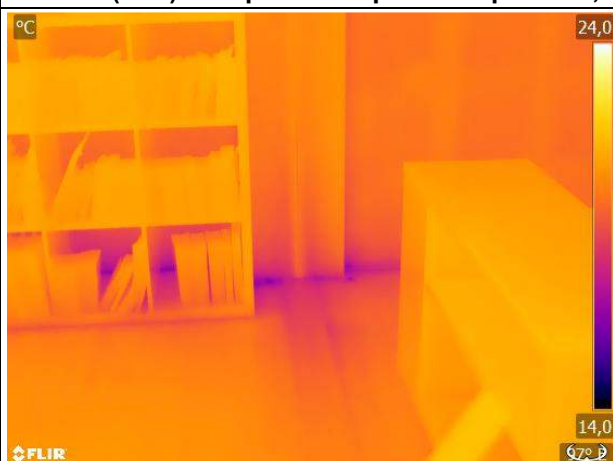
T-100: (ΔP-) Vue générale classe P3



T-101: (ΔP+) Comparatif en pression positive;



T-102: (ΔP-) Infiltration d'air mineure au joint entre les modules à proximité du plancher



T-103: (ΔP+) Comparatif en pression positive;



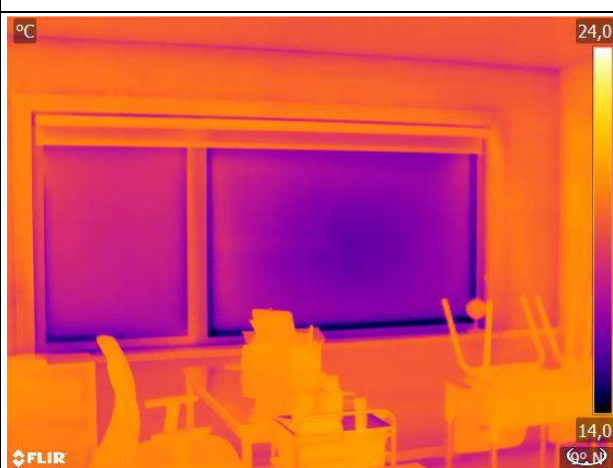
T-104: (ΔP -) Infiltration d'air par la fenêtre (fermeture et ajustement du volet en cause)



T-105: (ΔP +) Comparatif en pression positive;



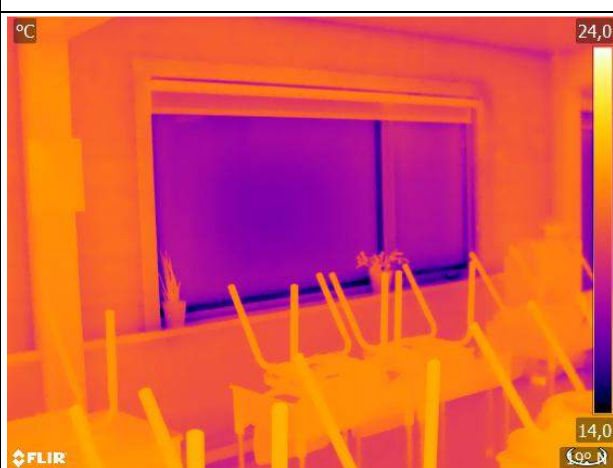
T-106: (ΔP -) Infiltration d'air au périmètre de la fenestration;



T-107: (ΔP +) Comparatif en pression positive;



T-108: (ΔP -) Infiltration d'air au périmètre de la fenestration;



T-109: (ΔP +) Comparatif en pression positive;



T-110: (ΔP -) Infiltration d'air par l'assemblage de la porte ainsi qu'au périmètre du cadre. Certains refroidissements sont attribuables à des pertes thermiques par conduction;



T-111: (ΔP +) Comparatif en pression positive; L'eau présente au seuil et sur le plancher ne représente pas une anomalie thermique



T-112: (ΔP -) Vue générale classe P4



T-113: (ΔP +) Comparatif en pression positive;



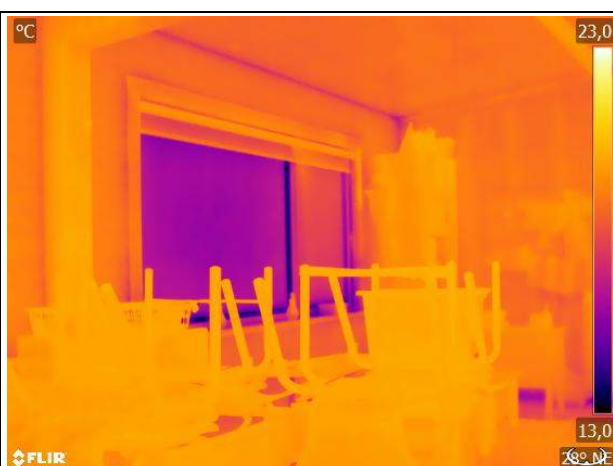
T-114: (ΔP -) Infiltration d'air au périmètre de la fenestration;



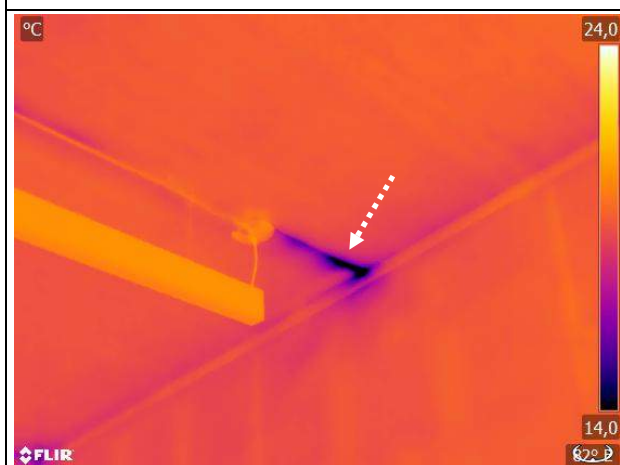
T-115: (ΔP +) Comparatif en pression positive;



T-116: (ΔP -) Infiltration d'air au périmètre de la fenestration; Mouvement d'air au volet ouvrant

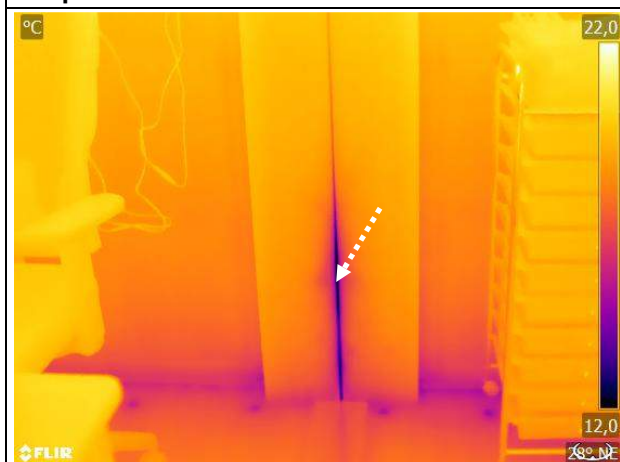


T-117: (ΔP +) Comparatif en pression positive;



T-118: (ΔP -) Infiltration d'air mineure au plafond

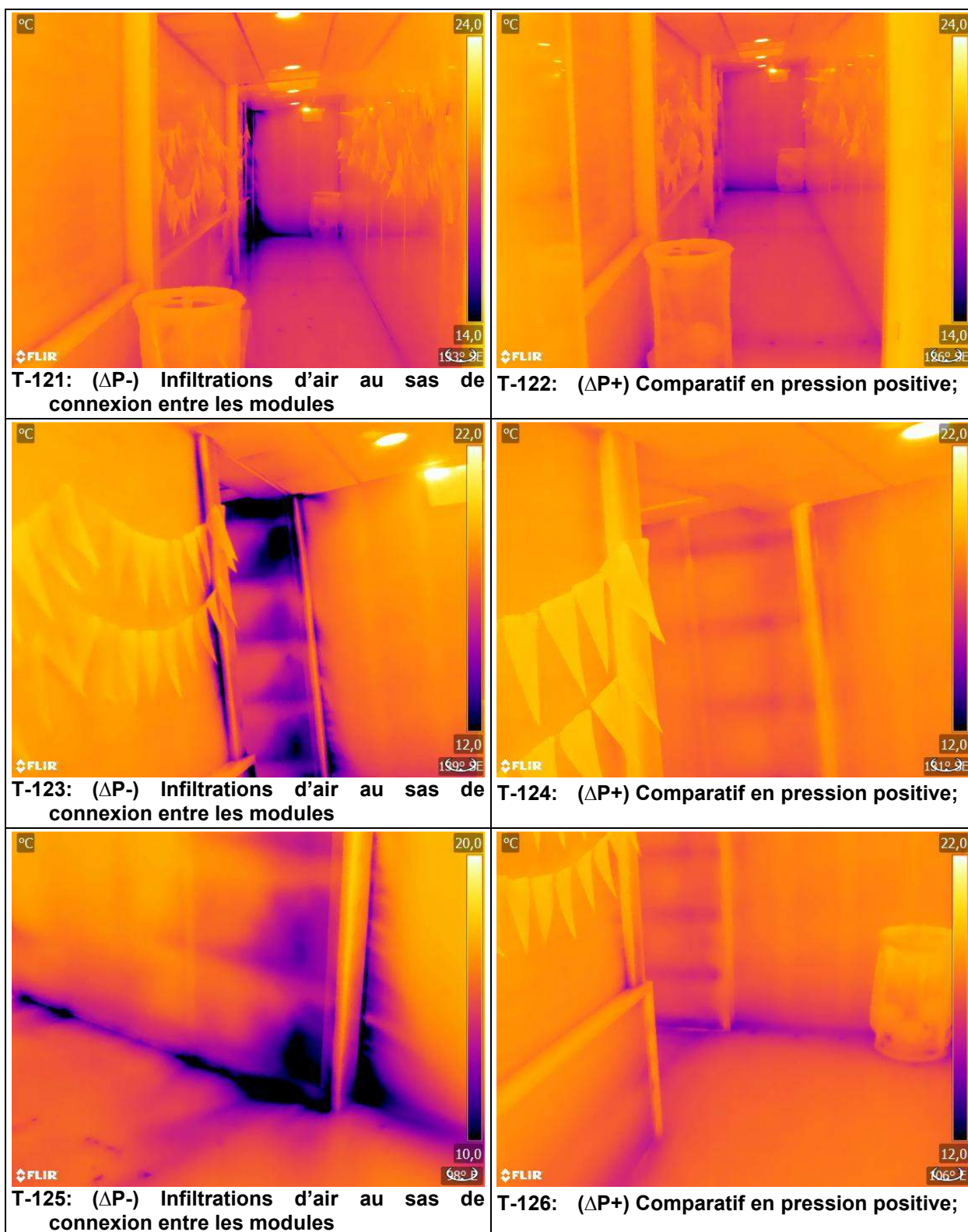
Voir T-113 pour comparatif en pression positive;

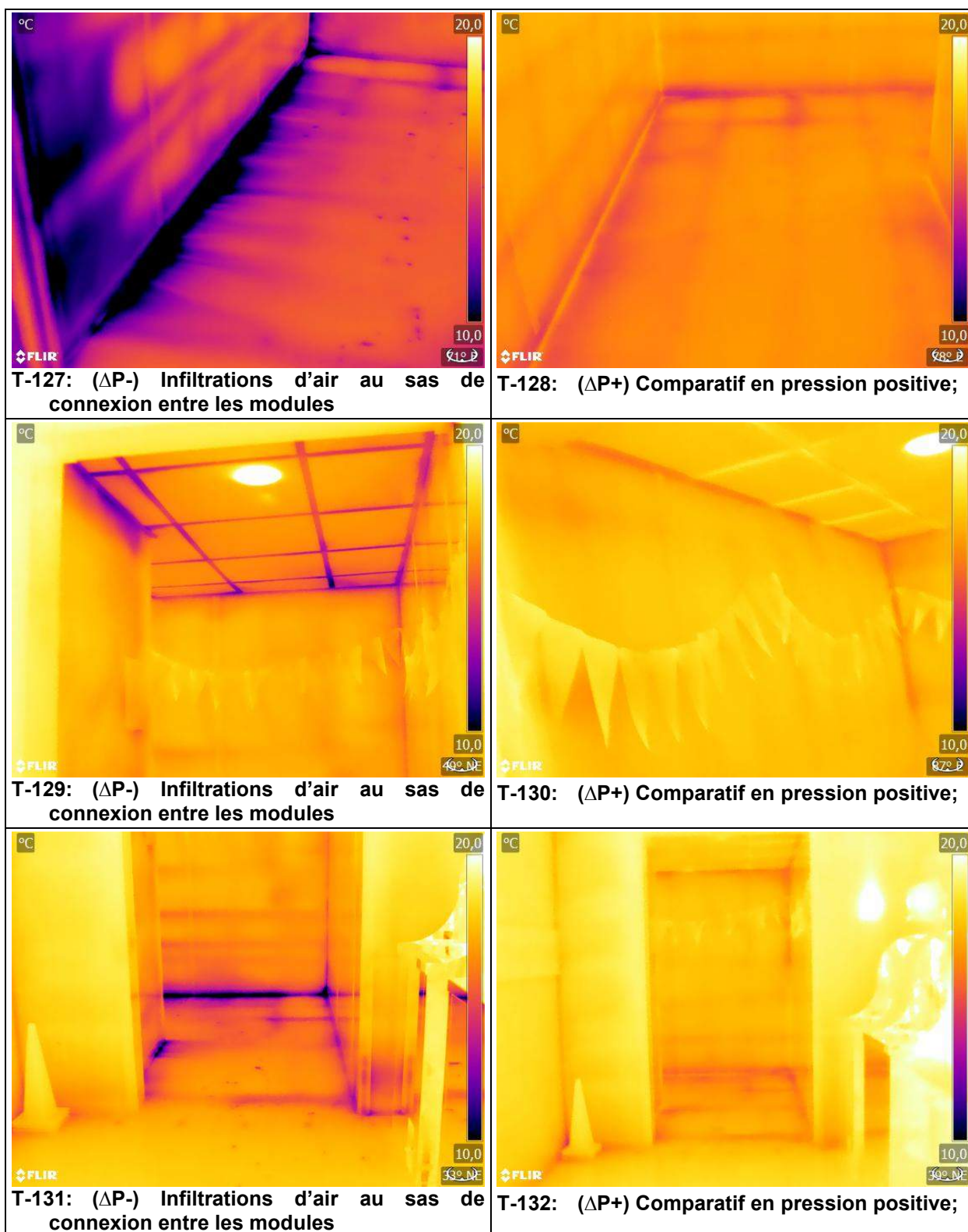


T-119: (ΔP -) Infiltration d'air mineure au joint entre les modules à proximité du plancher



T-120: (ΔP +) Comparatif en pression positive;





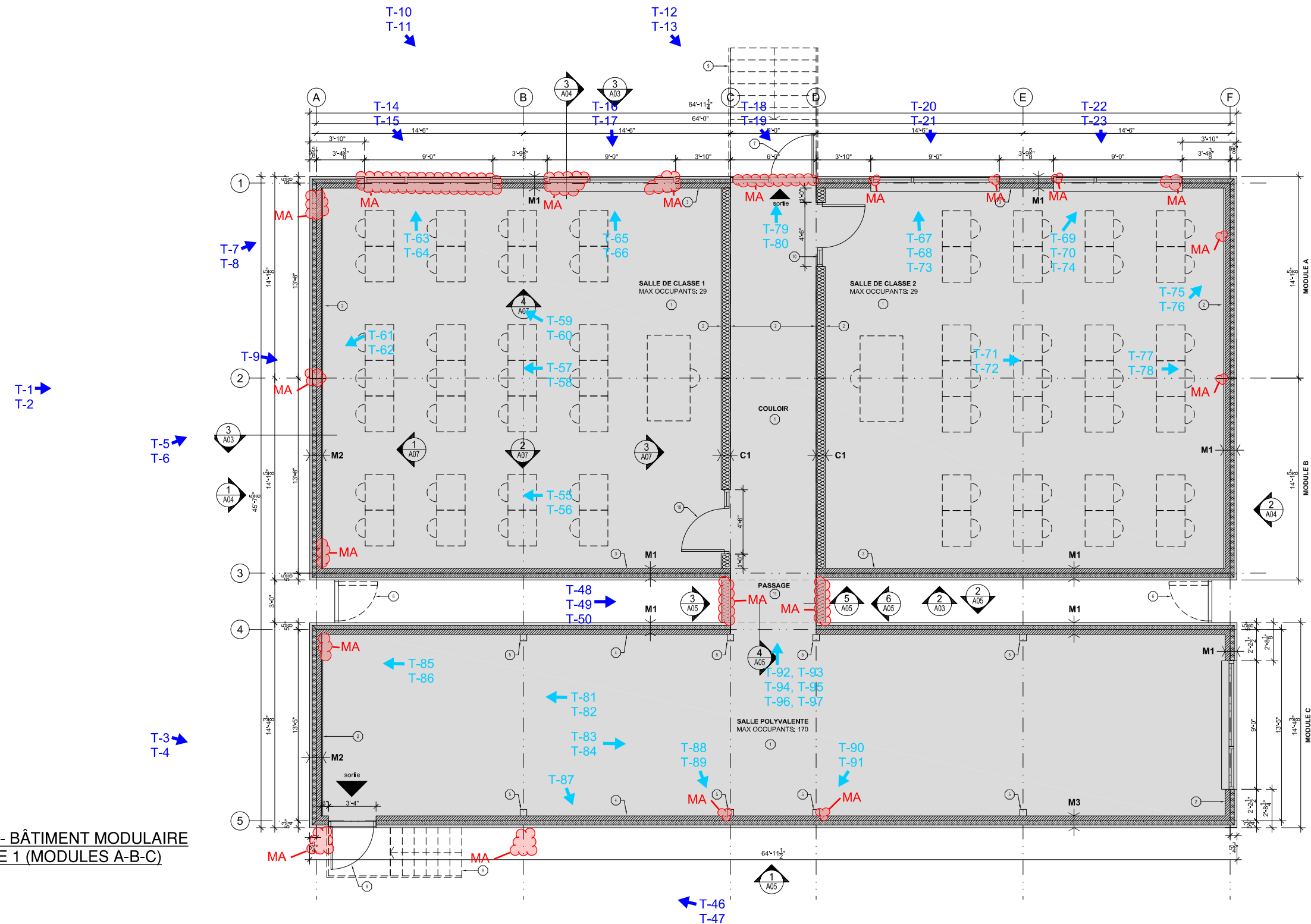
Annexe 2 – Plan de localisation

LÉGENDE

T-XXX ➡ LOCALISATION DES THERMOGRAMMES EXTÉRIEURS

T-XXX ➡ LOCALISATION DES THERMOGRAMMES INTÉRIEURS

MA  MOUVEMENT D'AIR



PLAN - BÂTIMENT MODULAIRE
PHASE 1 (MODULES A-B-C)



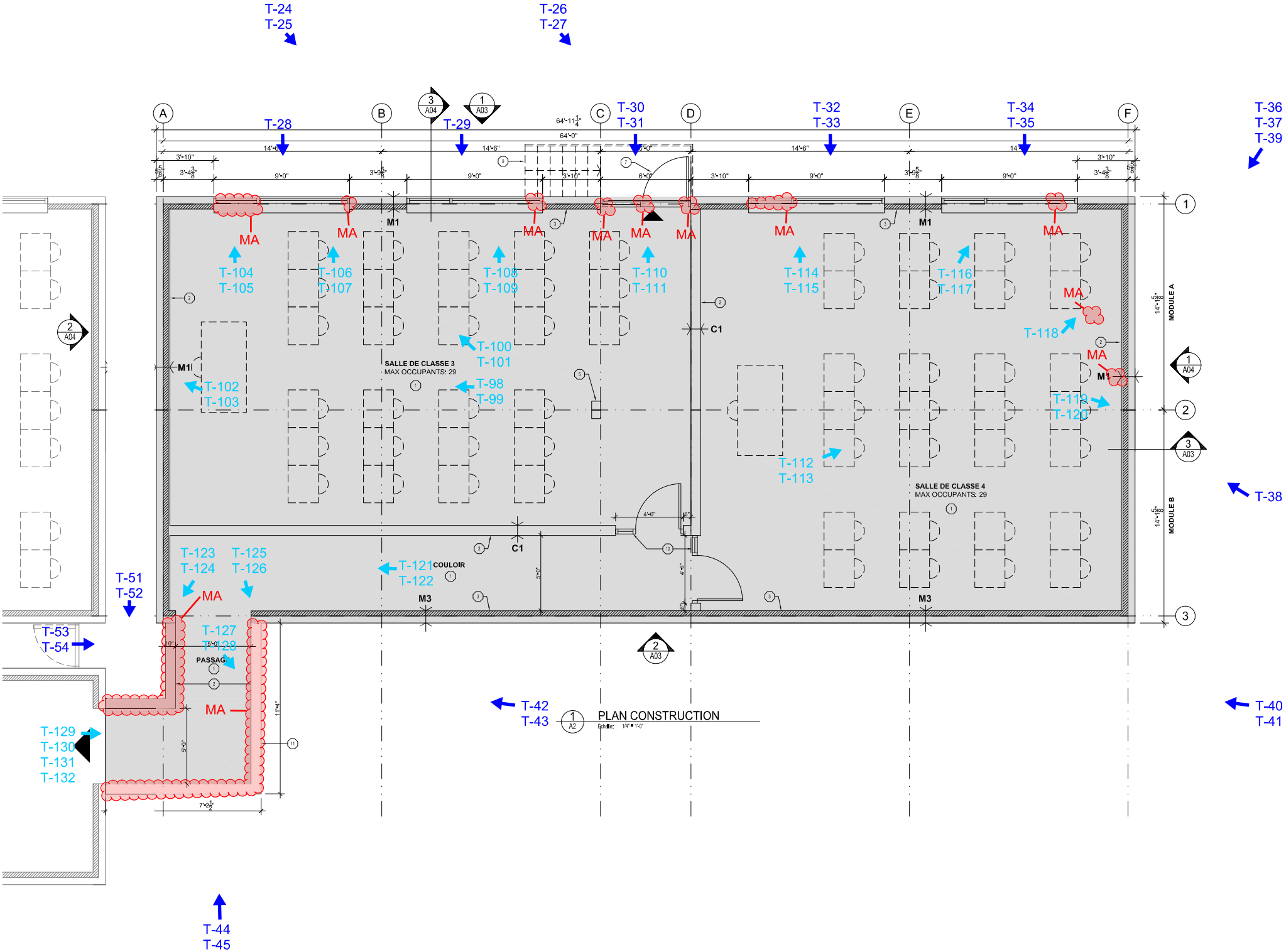
LÉGENDE

- T-XXX →

LOCALISATION DES THERMOGRAMMES EXTÉRIEURS
- T-XXX →

LOCALISATION DES THERMOGRAMMES INTÉRIEURS
- MA

MOUVEMENT D'AIR



PLAN - BÂTIMENT MODULAIRE
PHASE 2 (MODULES A-B)

Annexe 3 – Procédure de thermographie

PROCÉDURES DE THERMOGRAPHIE – ENVELOPPE VERTICALE DU BÂTIMENT

Solutions d'affaires UL Canada inc..

1. Généralités

Différents objectifs peuvent être visés par les relevés thermographiques effectués par Solutions d'affaires UL Canada inc. (UL) sur l'enveloppe verticale du bâtiment. Chacun des objectifs ou la combinaison de plusieurs objectifs va déterminer le protocole à suivre, soit :

- Détection des échanges thermiques occasionnés par un mouvement d'air à travers l'enveloppe (étanchéité à l'air). Protocole :
ASTM E1186
« Standard Practices for Air Leakage Site Detection in Building Envelopes and Air Barrier Systems »
DDN section 02 27 13
« Analyse thermographique – enveloppes de bâtiment »
- Détection des ponts thermiques ainsi que des défauts d'isolation de l'enveloppe (isolation thermique). Protocole :
ASTM C1060
« Standard Practices for Thermographic Inspection of Insulation Installations in Envelope Cavities of Frame Buildings »
DDN section 02 27 13
« Analyse thermographique – enveloppes de bâtiment »
- Détection de la présence d'humidité attribuable à des infiltrations d'eau en provenance de l'extérieur ou à des exfiltrations d'air humide en provenance de l'intérieur (étanchéité à l'eau et à la vapeur d'eau). Protocole :
DDN section 02 27 13
« Analyse thermographique – enveloppes de bâtiment »

La thermographie appliquée à l'enveloppe du bâtiment constitue d'abord un outil diagnostique non destructif, qui permet de localiser des anomalies thermiques et d'en identifier la nature et possiblement la cause. L'interprétation des images thermiques (thermogrammes) obtenues se base sur une connaissance approfondie des principes physiques de transfert de chaleur et des principes de construction de l'enveloppe de bâtiment à l'étude. Peu importe les objectifs visés, les constats obtenus de l'analyse thermographique devraient être validés par d'autres essais ou relevés non destructifs ou encore, par des interventions plus intrusives, comme des ouvertures exploratoires.

Les relevés thermographiques doivent être réalisés dans des conditions climatiques relativement stables et surtout dans un état stable d'échanges thermiques (régime permanent). Tous les protocoles prévoient, à cet effet, des délais d'application des conditions environnementales (pression, température, radiation solaire directe, vent) avant chaque relevé pour s'assurer que les phénomènes thermiques soient plus facilement interprétables et constants sur l'ensemble du bâtiment. Ces conditions imposent, dans la plupart des cas, que les relevés thermographiques soient réalisés la nuit et en période hivernale.

Les relevés thermographiques doivent aussi être reproductibles par quiconque voudrait refaire le relevé, en vue de confirmer les résultats obtenus. C'est ainsi que des procédures strictes et reconnues dictent les relevés thermographiques réalisés par UL.

2. Référence aux procédures d'essai utilisées dans le cadre de relevés thermographiques

2.1 Procédure de détection des fuites d'air ASTM E1186

« Standard Practices for Air Leakage Site Detection in Building Envelopes and Air Barrier Systems »

Il s'agit d'une procédure qui décrit un ensemble de techniques normalisées, dont le choix dépendra des applications spécifiques, servant à localiser les fuites d'air à travers l'enveloppe du bâtiment. Cette procédure ne permet pas de quantifier les fuites d'air identifiées.

« The practices described are of a qualitative nature in determining the air leakage rates » (ASTM E1186; 1.4).

La section 7.2 décrit une technique de détection basée sur l'utilisation de la thermographie en simulant des conditions de dépressurisation ou de surpressurisation, en utilisant des ventilateurs portatifs (référence à la méthode ASTM E779), ou les systèmes mécaniques du bâtiment et en présence d'un différentiel de température d'au moins 5 °C, entre l'intérieur et l'extérieur. Selon la procédure, un écart de pression adéquat à atteindre pour ce type de relevé serait dans une plage de 10 à 50 Pa.

Les conditions de pression et de température requises pour le relevé thermographique devront être ajustées par l'utilisateur pour prendre en considération l'effet du vent ou de la radiation solaire.

« Exterior observation at night normally requires higher differential temperatures because of obscuring effects from wind and residual solar radiation » (ASTM E1186; 7.2.1).

La procédure propose d'autres techniques pour ensuite valider la présence des fuites d'air, comme l'utilisation de dispositifs générateurs de fumée.

2.2 Procédure d'inspection thermographique ASTM C1060

« Standard Practices for Thermographic Inspection of Insulation Installations in Envelope Cavities of Frame Buildings »

Cette procédure établit chacune des étapes de l'étude, soit la cueillette d'informations préliminaire, l'inspection thermographique, l'interprétation des thermogrammes et la préparation du rapport.

La procédure est utilisée dans les investigations qui visent à identifier qualitativement des anomalies thermiques liées à l'isolation des bâtiments. Elle est applicable aux murs d'enveloppe, aux plafonds, aux toits et aux planchers dont la construction est caractérisée par la présence d'isolant dans la cavité entre les membrures de l'ossature structurale.

« This practice is a guide to the proper use of infrared imaging systems for conducting qualitative thermal inspections of buildings [...] that may contain insulation between framing members. This procedure allows the detection of cavities where insulation may be inadequate or missing and allows identification of areas with apparently adequate insulation » (ASTM C1060; 1.1).

La performance requise du système d'imagerie thermique est définie dans la procédure, en termes de résolution spatiale instantanée (IFOV). Ce paramètre donnera à l'opérateur de la caméra thermique les limites physiques (distance de recul maximale) à respecter lors du relevé thermographique, pour s'assurer qu'il conserve une résolution adéquate pour discerner un écart de température minimal (MRTD « *Minimal Resolvable Temperature Differential* ») et utile pour discerner les anomalies thermiques. Ces paramètres dépendent directement des caractéristiques de la caméra thermique utilisée.

Des instructions sont aussi données à l'opérateur concernant l'angle d'inspection des surfaces, qui doit être le plus près possible de la normale (perpendiculaire à la surface inspectée), mais assez grand pour discerner, au moins, deux espacements de l'ossature structurale. Idéalement, les relevés thermographiques doivent être faits à des angles de vue opposés, de manière à détecter des anomalies thermiques qui proviendraient de réflexions dans l'environnement ambiant.

La capacité de distinguer les variations de températures entre l'ossature et les cavités isolées dépend des conditions climatiques dans lesquelles le relevé est fait. L'annexe 2 de la procédure donne les lignes directrices à respecter par le professionnel lors de l'inspection thermographique. Un différentiel de température minimum de 10 °C est requis entre l'intérieur et l'extérieur, et ce, au moins 4 h avant le relevé pour s'assurer d'être en état stable d'échanges thermiques (régime permanent).

Lorsque le relevé est effectué à un différentiel de température basé sur les températures ambiantes, les paramètres de réchauffement des surfaces par radiation solaire et de refroidissement par le vent doivent être pris en considération. Des délais, sans radiation solaire directe, de 3 h pour des parements légers et de 8 h pour des parements de maçonnerie, sont requis pour permettre un déchargement des gains thermiques. Les conditions de vent devraient atteindre un maximum de 24 km/h.

La procédure reconnaît à l'utilisateur une certaine latitude dans l'application des recommandations concernant les conditions climatiques d'inspection. Par exemple, les délais sans radiation solaire directe peuvent être réduits lorsque le différentiel de température est plus grand que 10 °C. Toute variation par rapport aux paramètres prescrits devrait être prise en considération dans l'analyse des thermogrammes.

2.3 Procédure de thermographie DDN section 02 27 13

« Analyse thermographique – enveloppe du bâtiment »

Le Devis directeur national (DDN) inclut une section spécifique à la thermographie de l'enveloppe du bâtiment qui décrit chacune des exigences à respecter dans le cadre d'une analyse thermographique, dont :

- Les exigences concernant la certification du personnel (norme SNT-TC-1A);
- Le contenu du rapport d'analyse thermographique;
- Les caractéristiques du système d'imagerie thermique requis (MDTD et IFOV) ainsi que de tout autre équipement connexe à utiliser;
- Les contraintes météorologiques à respecter pour assurer la validité du relevé thermographique.

La procédure du DDN se base principalement sur les procédures ASTM C1060 et ASTM E1186, mais aussi sur le « Manuel d'analyse thermographique des enveloppes du bâtiment » CAN/CGSB 149-GP-2MP. Les procédures décrites dans le DDN couvrent tous les objectifs pouvant être visés lors de l'inspection thermographique de l'enveloppe verticale du bâtiment. Selon chacun des objectifs recherchés, la procédure dicte l'ordre des relevés, les conditions climatiques requises, les écarts de pression à atteindre et les délais d'application de ces conditions, pour assurer que les relevés soient effectués dans un état stable d'échanges thermiques (régime permanent).

Les exigences du DDN concernant les conditions environnementales à respecter pour les relevés thermographiques sont généralement plus précises et parfois plus contraignantes que celles établies par les procédures de références ASTM C1060 et ASTM E1186.

Tableau 1 – Conditions environnementales selon le DDN 02 27 13

	Étanchéité à l'air	Isolation thermique	Étanchéité à l'eau et à la vapeur d'eau
Relevés	1. INT (ΔP -)	1. EXT (ΔP -)	1. EXT (ΔP -)
	2. EXT (ΔP +))	2. INT (ΔP +))	2. EXT (ΔP +))
			3. INT (ΔP neutre)
Différentiels de température et de pression requis	ΔT min. 10 °C pour ΔP >10 Pa, mais <25 Pa	ΔT min. 15 °C pour ΔP >10 Pa, mais <25 Pa	ΔT min. 20 °C pour ΔP >25 Pa
	ΔT min. 20 °C pour ΔP <10 Pa, mais >5 Pa		ΔT min. 30 °C pour ΔP <10 Pa
Vent au niveau du sol	Max. 10 km/h		
Délais d'application des conditions pour atteindre le régime permanent	2 h		
Délais sans radiation solaire directe	Murs extérieurs pleins (maçonnerie massive) – min. 8 h Murs à revêtement de maçonnerie sur ossature à poteaux – min. 6 h Murs à revêtement léger sur ossature à poteaux – min. 4 h Murs-rideaux en verre et métal – min. 2 h		

3. Particularités dans l'application des protocoles de thermographie par UL

Les relevés thermographiques effectués par UL visent, dans la majorité des cas, une combinaison des trois objectifs cités dans la section 1.1. Ce type de relevé demande de combiner les étapes de relevés et les conditions environnementales exigées par la procédure du DDN. Dans ce cas, pour une efficacité logistique, UL procède au relevé en deux étapes (pression négative, pression positive) en faisant, à chaque étape, le relevé des surfaces intérieures et/ou extérieures selon le cas à l'étude.

UL se donne une latitude dans l'application des conditions environnementales et des délais indiqués dans la procédure du DDN, mais en respectant minimalement les exigences des procédures ASTM C1060 et ASTM E1186.

Les conditions environnementales requises qui ne peuvent pas être respectées lors du relevé thermographique sont notées au rapport et prises en considération dans l'interprétation des thermogrammes.

Certains paramètres sont définis par UL pour la réalisation des relevés thermographiques, notamment pour le niveau de pressurisation. Sur la base de notre expérience, nous avons défini qu'un différentiel de pression de l'ordre de 50 Pa est optimal pour détecter les anomalies qui relèvent de l'étanchéité à l'air. Dans le cas des enveloppes constituées entièrement de produits de fenestration tels que le mur-rideau, le différentiel de pression souhaitable est de 75 Pa. Ce niveau de pression de 75 Pa correspond aux conditions minimales de mise à l'essai des produits de fenestration dans le cadre d'essai de performance visant à déterminer l'étanchéité à l'air de ce type d'assemblage¹. Les niveaux de pression sont également ajustés en fonction de la hauteur de bâtiment ou des limites de pressurisation des systèmes de ventilation dans les bâtiments.

UL utilise, pour les relevés thermographiques, une caméra thermique FLIR modèle T-6xx, dont voici les principales caractéristiques :

Tableau 2 – Caractéristiques de la caméra thermique T-620 ou T-660 de FLIR

Résolution spatiale (IFOV)	0.68 mrad
Sensibilité thermique	<50 mK à + 30 °C
Matrice plan focal (FPA)	640 x 480 pixels
Plage de températures enregistrées	- 20 °C à + 150 °C

4. Paramètres d'analyse des thermogrammes

L'analyse thermographique réalisée dans le cadre du présent mandat permet d'effectuer une évaluation qualitative du comportement thermique de l'enveloppe verticale. Cette analyse ne permet pas de quantifier le flux thermique qui traverse l'enveloppe ni de quantifier le débit d'air associé à une discontinuité de l'étanchéité à l'air. Au terme de l'analyse des images thermiques, nous sommes en mesure de cibler les assemblages et les jonctions qui présentent des anomalies thermiques, d'en identifier la cause possible (mouvement d'air, pont thermique ou présence d'humidité) et de déterminer les mesures correctives ou les investigations supplémentaires requises.

¹ En référence à la norme de fenestration en vigueur AAMA/WDMA/CSA 101/I.S.2/A440.

L'analyse des images thermiques est basée sur une analyse comparative des patrons thermiques particuliers ou anormaux qui sont détectés sur les surfaces observées. Cette analyse peut être faite d'au moins deux façons :

- 1) En comparant les images thermiques obtenues lorsque le bâtiment est en pression négative et lorsque le bâtiment est en pression positive. Si un différentiel de température est observé dans un certain assemblage ou à une jonction particulière en comparant les images dans les deux régimes de pression, nous sommes habituellement en mesure de conclure que ce différentiel de température est dû à un mouvement d'air en infiltration ou en exfiltration. Si le changement de régime de pression n'a pas d'impact significatif sur un patron thermique particulier, la cause de l'anomalie thermique peut être de l'ordre d'un pont thermique (transfert de chaleur par conduction) ou autre, comme la présence d'humidité dans les assemblages.
- 2) En comparant le comportement thermique d'un assemblage ou d'une jonction avec le comportement thermique d'un même assemblage ou d'une même jonction présente sur le bâtiment. De cette manière, nous sommes en mesure de discerner une anomalie thermique par rapport à ce qui devrait être un bon comportement thermique. Ainsi, il est aussi possible de porter un jugement qualitatif sur l'intensité de cette anomalie en relation avec le comportement qui est normalement attendu.

Pour faciliter la compréhension et pour documenter l'analyse, les images thermiques au rapport (annexe) sont présentées en régime de pression positive et négative côte à côte.

Il est possible que certains thermogrammes présentés au rapport soient pris à une distance excédant la distance prescrite pour la détection minimale de variations de température de nos caméras thermiques (IFOV=1,3 mrad). Il est aussi possible que certaines images thermiques soient prises à des angles excédant les paramètres recommandés pour une détection thermique optimale. Ces images sont habituellement présentées au rapport pour montrer une vue générale ou encore pour mettre en contexte une image thermique prise de plus près. L'analyse des thermogrammes et la détection d'anomalie thermique se font à partir des images rapprochées et prises avec un angle plus près de la normale (perpendiculairement à la surface observée).

Pour la réalisation d'une analyse thermographique qualitative, la mesure de la température exacte d'une surface n'est pas requise. Notre analyse est faite en évaluant le différentiel de température et non la température absolue. Lors du relevé thermographique, le paramètre d'émissivité des matériaux est fixé à 0,95 et conservé pour toutes les images prises. Le paramètre de température réfléchi (température de l'environnement rayonnant) est estimé avant chaque relevé (intérieur et extérieur) et demeure constant pour tout le relevé. Dans ces paramètres, l'analyse tient compte du fait que les différentiels de température peuvent ainsi être sous-estimés pour les matériaux à faible émissivité comme les métaux. L'analyse tient aussi compte des réflexions de l'environnement rayonnant pour ces matériaux à plus faible émissivité en prenant des prises de vue à plusieurs angles pour bien discerner les anomalies thermiques des réflexions thermiques.