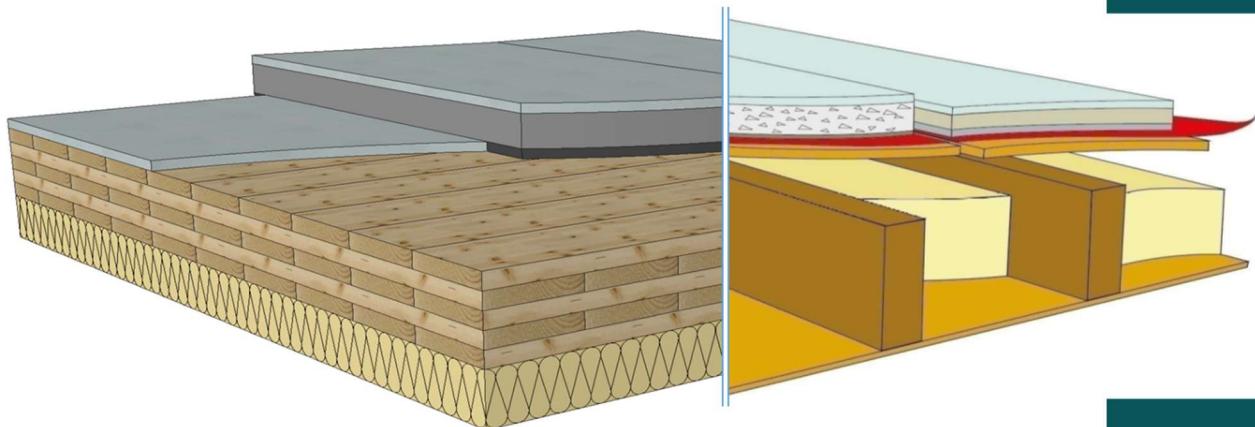




INSTITUT
TECHNOLOGIQUE

Ventilation et salubrité des planchers bas en bois sur vide sanitaire



Réf. CODIFAB : 2023 FCBA B 49_50

Rapport final

Rapport non confidentiel

Date : Janvier 2026

Rédaction : Julien Lamoulie – FCBA // Kamel Zibouche (CSTB)

En partenariat avec :



Avec le soutien de :





Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Sommaire

1	Contexte et objectifs de l'étude	5
2	Etat des lieux : Prescriptions de conception existantes	6
2.1	Planchers solivés : Prescriptions du DTU 51.3 (2004), du NF DTU 31.1 (2017) et des Avis Techniques.....	6
2.2	Planchers solivés : Prescriptions du NF DTU 31.2 (2019)	6
2.3	Planchers CLT	6
2.4	Prescriptions particulières liées aux revêtements de sol : NF DTU 51.1 (2010)	7
2.5	Autre référentiel français	7
2.6	Autre référence internationale.....	8
2.7	Faisabilité des modélisations hygrothermiques pour les planchers bas sur vide sanitaire	9
2.8	Conclusion partielle sur l'État de l'Art existant.....	9
3	Types de parois visées par l'étude	10
4	Détermination des conditions hygrothermiques dans les vides sanitaires	10
4.1	Objectifs.....	10
4.2	Méthodologie	10
4.3	Cas d'étude.....	11
4.4	Hypothèses.....	14
4.5	Résultats et traitement des données	17
4.6	Conclusion partielle	23
5	Evaluation de la salubrité des planchers bas en bois sur vide sanitaire par modélisations hygrothermiques	25
5.1	Cahier des charges des modélisations	25
5.2	Résultats pour les planchers avec solivage.....	32
5.3	Résultats pour les planchers CLT.....	35
5.4	Résultats pour les points singuliers	37
6	Interprétation des résultats des modélisations	41
6.1	Cas des planchers avec solivage.....	41
6.2	Cas des planchers CLT.....	44
6.3	Cas des points singuliers	45

7	Définition de prescriptions de conception et de mise en œuvre	
	46	
7.1	Préambule.....	46
7.2	Règles générales.....	46
7.3	Spécificités pour les planchers avec solivage.....	49
7.4	Spécificités pour les planchers CLT.....	49
8	Conclusion générale.....	50

1 Contexte et objectifs de l'étude

Les planchers bas en bois sur vide sanitaire, sont visés par le DTU 51.3 lorsqu'ils sont mis en œuvre sur chantier, et par le NF DTU 31.2 lorsque les éléments de plancher sont préfabriqués.

Les prescriptions de ces deux DTU ne sont pas forcément en accord avec les pratiques constatées sur de nombreux chantiers, notamment en raison des contraintes d'accessibilité PMR, conduisant à réduire les gardes au sol pour ces planchers, ou des configurations topographiques de terrain qui génèrent souvent des réductions des débits de ventilation par rapport à ceux prescrits dans les DTU.

Dans le cas des planchers CLT, bien que les planchers bas sur vide sanitaire ne soient pas exclus du domaine d'application des Avis Techniques ou des Documents Techniques d'Application dont font l'objet les panneaux CLT, aucune prescription quant à la conception des ouvrages de planchers bas en CLT n'est précisément définie.

Et lorsqu'il s'agit de vérifier la salubrité de ces parois particulières grâce à des modélisations numériques, l'ouvrage de référence sur le sujet, le Guide Pacte SimHuBat, exclut les planchers bas sur vide sanitaire.

Ces prescriptions absentes ou dont le caractère sécuritaire n'est pas certain conduisent à observer un niveau de sinistralité significatif pour ces ouvrages.

Il est donc nécessaire de fiabiliser l'évaluation des risques pour ces parois.

Les objectifs de cette étude sont donc multiples :

- Construire une méthode permettant de générer des conditions types pour des vides sanitaires par modélisation numérique et générer des conditions aux limites types sécuritaires pour les différents climats utilisés dans les études d'expertise liées à l'évaluation technique d'un plancher bois sur vide sanitaire amené à être utilisé dans tous les climats français métropolitains
- Appliquer ces conditions sur plusieurs configurations (variantes en termes de volume, sections et orientation des ouvertures de ventilation, isolation des planchers, type de sol, type de mur enterré)
- Définir des prescriptions pour les planchers CLT et pour les planchers solivés relevant du DTU 51.3 (et pour les planchers préfabriqués du NF DTU 31.2) à la fois facilitant la mise en œuvre de ces ouvrages par rapport aux prescriptions actuelles tout en permettant de garantir la salubrité des planchers (pour les bois et les matériaux à base de bois mais également pour les isolants embarqués).

2 Etat des lieux : Prescriptions de conception existantes

2.1 Planchers solivés : Prescriptions du DTU 51.3 (2004), du NF DTU 31.1 (2017) et des Avis Techniques

Le DTU 51.3 vise uniquement le plafond intérieur réalisé en panneau ou en lames. Le solivage relève du NF DTU 31.1.

Les prescriptions du DTU 51.3 concernant les planchers bas sur vide sanitaire sont les suivantes :

- Un film pare-vapeur doit être mis en œuvre
- La hauteur minimale sous le solivage ou le support bois le plus bas doit être de 0,30 m.
- Les orifices de ventilation doivent être « judicieusement répartis »
- La surface totale minimum des orifices de ventilation et les conséquences sur la durabilité et le dimensionnement de l'ouvrage est telle que mentionnée dans le tableau ci-dessous :

TABLEAU 1 : PRESCRIPTIONS DE VENTILATION DES PLANCHERS SUR VIDE SANITAIRE DU DTU 51.3

Vide sanitaire bien ventilé 1 /150e	Classe d'emploi 2 Classe de service 2
Vide sanitaire moyennement ventilé 1 /250e	Classe d'emploi 2 ou 3 Classe de service 2
Vide sanitaire avec risque de stagnation d'eau ou faiblement ventilé 1 /500e	Classe d'emploi 3 Classe de service 3

NOTE Un film pare-vapeur doit être fixé sur la sous-face du plancher.

Pour les solivages traditionnels en bois massif, il n'y a aucune prescription particulière dans le NF DTU 31.1 concernant les planchers sur vide sanitaire

Dans le cas des poutres en i, non traditionnelles, le « Cahier des Prescriptions Techniques Poutres en I » renvoie au NF DTU 31.2 et au DTU 51.3, notamment quant à la garde au sol (intérieur et extérieur), à la ventilation naturelle, et au traitement de préservation des éléments de structure. Le dimensionnement est réalisé dans les conditions de la Classe de Service 2 dès lors que les exigences de ventilation correspondantes du DTU 51.3 sont satisfaites. De plus, le CPT indique qu'un plancher sur vide sanitaire étant réputé isolé, un pare-vapeur devra être positionné entre le dessus des solives et le panneau de plancher.

2.2 Planchers solivés : Prescriptions du NF DTU 31.2 (2019)

Le NF DTU 31.2 ne vise que les éléments préfabriqués de planchers, et pour la conception, un renvoi est fait vers le DTU 51.3 avec la précision de ne retenir que les vide sanitaires « bien ventilés », à savoir 1/150^{ème}.

2.3 Planchers CLT

A ce jour, les planchers bas en CLT relèvent de la procédure d'évaluation (Avis Technique ou DTA).

Dans ces documents, les planchers bas sur vide sanitaire sont soit exclus du domaine d'application, soit il n'y a pas de prescriptions spécifiques si ce n'est pas exclu.

Les planchers sur vide sanitaires sont également présentés dans le Guide RAGE : PANNEAUX MASSIFS BOIS CONTRECOLLÉS » de novembre 2014, mais uniquement dans la partie « performance thermique » et aucune règle de conception n'est donnée concernant la ventilation du vide sanitaire ou la nécessité d'un pare-vapeur.

2.4 Prescriptions particulières liées aux revêtements de sol : NF DTU 51.1 (2010)

Les prescriptions de ce NF DTU 51.1 – Pose des parquets à clouer, sont différentes de celles des autres DTU :

Dans le cas de supports réalisés sur vide sanitaire, celui-ci doit avoir 0,50 m de hauteur minimale, être débarrassé de toute matière organique. Ces supports sur vide sanitaire nécessitent la mise en œuvre d'un pare-vapeur.

Des bouches de 30 cm² par mètre linéaire de soubassement, réparties de telle façon qu'il ne subsiste aucune zone d'air stagnant et totalisant au moins 1/2 000 de la surface du plancher, permettent d'assurer une ventilation satisfaisante.

2.5 Autre référentiel français

En dehors du corpus « DTU / Avis Technique », un autre document évoque la conception et la mise en œuvre des planchers bas en bois sur vide sanitaire : il s'agit du guide « DALLE BOIS – Le plancher bois du rez-de-chaussée » publié en 2018 par Bois PE et le CNDB.

Cet ouvrage permet de préciser certaines dispositions du DTU 51.3, notamment concernant la ventilation du vide sanitaire.

On peut notamment retenir les prescriptions suivantes :

- Ouvertures de ventilation positionnées
 - au moins à 40 cm des angles de murs
 - au plus espacées de 5 m
- Largeur des orifices au moins égale au double de leur hauteur
- Les ventilations des murs doivent se correspondre y compris sur les refends intermédiaires
- Prendre en compte l'ouverture nette des grilles de ventilation
- Entrées principales côté vent dominant

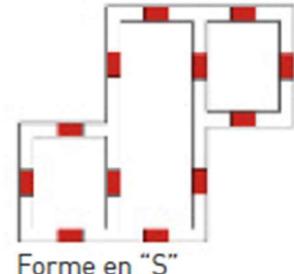
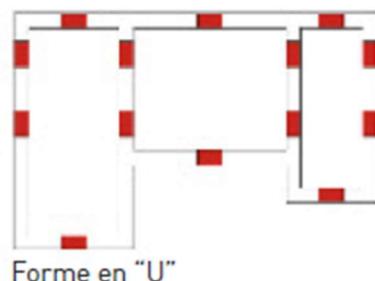
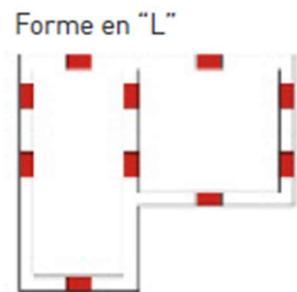
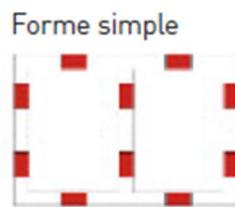


Figure 1 : Exemple de positionnement des ouvertures de ventilation des vides sanitaires en fonction de la forme du bâtiment – **Cas de la ventilation naturelle** (extrait du Guide Dalle Bois BoisPE / CNDB)

Dans les cas où le vide sanitaire ne peut pas être ventilé naturellement, le Guide propose également une ventilation mécanique, avec la mise en place d'un extracteur d'air permettant de renouveler l'air du vide sanitaire de 0,5 vol/h.

Cela permet de limiter le nombre et la surface des ouvertures, mais la contrainte de ventiler de manière homogène demeure.

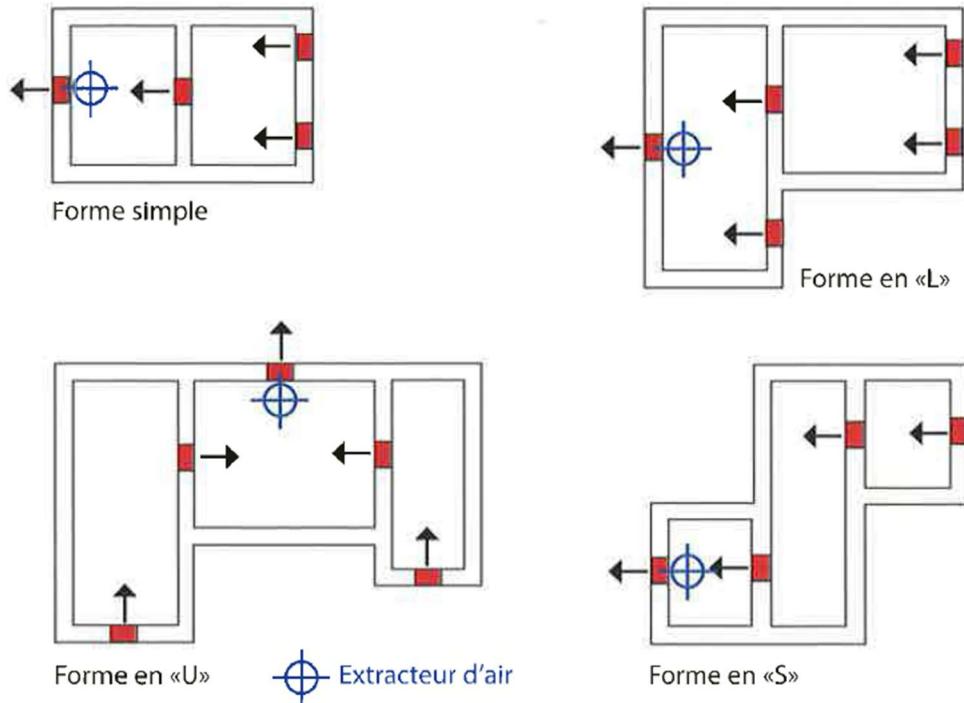


Figure 2 : Exemple de positionnement des ouvertures de ventilation des vides sanitaires en fonction de la forme du bâtiment – **Cas de la ventilation mécanique** (extrait du Guide Dalle Bois BoisPE / CNDB).

2.6 Autre référence internationale

Des prescriptions existent dans une publication ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), avec une approche pouvant dans certains cas être différente de l'approche française.

Deux approches sont envisagées :

- Soit le vide sanitaire n'est pas ventilé sur l'extérieur et son ambiance est régulée par le système de VMC ou de climatisation de la construction (vide sanitaire relié à la maison)
- Soit le vide sanitaire est ventilé sur l'extérieur et indépendant de l'intérieur de la construction (vide sanitaire indépendant la maison).

Il est relevé une sinistralité élevée lorsqu'une solution intermédiaire est envisagée.

Cas du « vide sanitaire relié à la maison » :

Le volume est traité par un renouvellement d'air contrôlé en période chaude associé à la déshumidification en période froide. Dans ce cas, le vide sanitaire est isolé avec un isolant rigide. Le sol du vide sanitaire est recouvert d'un revêtement continu et imperméable à la vapeur. Il est étanche à l'air, ce qui l'isole de l'air extérieur et du sol. Puis il faut assurer un renouvellement d'air entre le vide sanitaire et la maison, et une déshumidification.

C'est cette solution qui, dans la publication, est dite la plus sécuritaire.

A noter que cette solution est inenvisageable en France au vu des Règles de l'Art.

Cas du « vide sanitaire indépendant la maison » :

La publication indique que cette solution est moins robuste que la précédente.

Le vide sanitaire est ici ventilé sur l'extérieur, ce qui rejoint les prescriptions françaises. Il est prescrit la mise en œuvre d'un système pare-vapeur étanche à l'air. Mais la comparaison avec les prescriptions françaises s'arrête là...

En effet, contrairement aux prescriptions françaises, l'étanchéité à l'air et à la vapeur est positionné côté extérieur par rapport à l'isolation dans le document ASHRAE. L'air et la vapeur ne doivent pas pénétrer dans le plancher. Il est prescrit des isolants rigides (polyisocyanurate) revêtus de feuilles d'aluminium sous la structure du plancher pour éviter les « remontées » de vapeur d'eau. L'accent est par ailleurs sur la difficulté de réaliser l'étanchéité à l'air en sous-face du plancher, et il est supposé un flux de vapeur extérieur >> intérieur.

Les débits de ventilation du vide sanitaire ne sont pas donnés précisément dans le document mais dès lors que l'isolant rigide n'est pas continu, il est prescrit un vide sanitaire largement ouvert sur l'extérieur (dalle sur plots).

2.7 Faisabilité des modélisations hygrothermiques pour les planchers bas sur vide sanitaire

Le guide PACTE « détermination des hypothèses pour les simulations de transferts couplés température / humidité dans les parois de bâtiment », d'octobre 2021 a pour objectif de proposer les hypothèses de calcul pour l'estimation des risques de pathologies liées à l'humidité dans les parois des bâtiments.

Cependant, dès le domaine d'application de ce texte, il est indiqué : « les recommandations de ce document ne s'appliquent pas aux planchers bas, ni aux parois en contact avec le sol ou un local non chauffé (vide- sanitaire, garage...), qui doivent faire l'objet d'études spécifiques en termes de conditions aux limites extérieures notamment (remontées capillaires, ventilation du vide-sanitaire...) ».

En l'état actuel des connaissances **il n'est donc pas possible de réaliser des modélisations** sur ce type de parois.

2.8 Conclusion partielle sur l'État de l'Art existant

Les prescriptions du DTU 51.3 (et de fait du NF DTU 31.2) sont insuffisantes, notamment en termes de conception de la ventilation du vide sanitaire, et les options données sur le choix de la surface de ventilation ne sont pas assez détaillées. Il en est de même dans les Avis Techniques.

Rien n'existe concernant les planchers bas en CLT : ni en termes de conception hygrothermique, ni en termes de ventilation via le vide sanitaire.

Le niveau de ventilation prescrit dans le NF DTU 51.1 est **très inférieur à ceux du DTU 51.3**, et peuvent être considéré comme **largement insuffisants dans le cas d'un plancher bas en bois**.

Enfin, l'absence d'hypothèses fiabilisées pour définir les conditions hygrothermiques et les climats propres aux vides sanitaires, limite significativement les possibilités d'évaluation de la salubrité de telles parois, lorsque les prescriptions génériques sont manquantes comme c'est le cas pour les planchers en bois sur vides sanitaires.

Certains points présents dans le Guide « Dalle bois » mériteraient par ailleurs d'être repris lors des révisions des DTU, notamment celle du DTU 51.3.

L'éclaircissement des prescriptions, la définition d'exigences pour les points manquants, ainsi que la définition du climat dans les vides sanitaires seront donc les points développés dans la suite du présent rapport.

3 Types de parois visées par l'étude

La présente étude portera :

- Sur les planchers solivés tels que ceux décrits dans le NF DTU 31.2 ou dans le NF DTU 51.3, avec une isolation entre solives, et composés de solives à section rectangulaire ou en i.
- Sur les planchers CLT isolés par le dessus ou par le dessous.

Le détail sur la composition des parois étudiées est donné dans les chapitres 4 et 5 ci-dessous.

4 Détermination des conditions hygrothermiques dans les vides sanitaires

4.1 Objectifs

Le CSTB a été sollicité pour mener « une étude dans l'étude » visant à caractériser les conditions de température et d'humidité dans les vides sanitaires. Cette démarche s'inscrit dans une volonté d'améliorer la compréhension des phénomènes hygrothermiques affectant les planchers en bois construits au-dessus de ces espaces, en vue de prévenir les risques de dégradation et de garantir la pérennité des ouvrages.

En effet, lors des simulations hygrothermiques réalisées à l'aide de logiciels comme WUFI, la définition des conditions aux limites (température et humidité relative de l'air dans le vide sanitaire) constitue un paramètre essentiel pour évaluer de manière fiable les risques liés à l'humidité (condensation, moisissures, altération des matériaux). Ces conditions dépendent de nombreux facteurs, parmi lesquels :

- Les conditions climatiques extérieures : température de l'air, humidité relative, vent, rayonnement solaire, précipitations ;
- Les conditions intérieures du bâtiment : température et humidité relative de l'ambiance chauffée ;
- Les caractéristiques géométriques et de ventilation du vide sanitaire : volume, dimensions et positionnement des ouvertures, orientation ;
- Les dispositifs d'isolation : isolation du plancher bas et isolation périphérique des soubassements;
- Le type de sol et les échanges d'humidité entre ce dernier et l'air du vide sanitaire (diffusion, évaporation, capillarité, etc.).

L'objectif de cette étude est donc de fournir des données d'entrée représentatives en température et humidité, afin d'alimenter les modélisations hygrothermiques et de contribuer à l'amélioration des pratiques de conception et de rénovation des planchers bas en bois sur vide sanitaire.

4.2 Méthodologie

L'évaluation des conditions de température et d'humidité dans les vides sanitaires peut être menée selon deux approches complémentaires : l'observation expérimentale et la modélisation numérique. Les mesures in situ permettent de capter la variabilité réelle des conditions hygrothermiques dans le vide sanitaire, en tenant compte de l'ensemble des facteurs influents : climat extérieur, caractéristiques des ouvertures de ventilation, propriétés du sol, inertie thermique des structures et géométrie de l'espace.

Cette approche est particulièrement pertinente pour valider les hypothèses de modélisation, ajuster les paramètres des modèles numériques, ou pour le suivi d'un projet spécifique. En revanche, elle s'avère coûteuse et chronophage si l'on souhaite en déduire des conditions représentatives génériques, car cela impliquerait la mise en place d'un panel étendu de sites instrumentés et un suivi à long terme.

En parallèle, les simulations hygrothermiques offrent une capacité d'analyse prédictive et paramétrique très utile. Elles permettent d'explorer un large éventail de configurations (conditions climatiques, géométrie,

dimensionnement et orientation des ouvertures, nature du sol, isolation périphérique des fondations, présence ou non d'une membrane d'étanchéité, etc.). Cependant, l'impact de certains phénomènes reste difficilement quantifiable, notamment les échanges convectifs réels dans les vides sanitaires, les variations saisonnières de l'humidité du sol, ou encore l'influence de l'orientation des ouvertures de ventilation par rapport au vent.

Dans cette étude, nous avons choisi de nous appuyer sur une approche numérique, en utilisant le logiciel de simulation hygrothermique WUFI®, développé par l'IBP Fraunhofer. Cet outil permet de réaliser des calculs transitoires de transferts couplés chaleur-humidité à travers les matériaux de construction, en tenant compte des conditions climatiques extérieures réelles, des propriétés hygrothermiques des matériaux, ainsi que des échanges avec l'environnement intérieur ou des espaces non chauffés comme les vides sanitaires.

Nous avons mené une étude paramétrique afin d'évaluer l'impact de plusieurs paramètres clés sur les conditions hygrothermiques dans le vide sanitaire. Les simulations ont été réalisées à l'aide du logiciel WUFI, en faisant varier successivement les éléments suivants :

- **Le climat extérieur** : trois zones climatiques représentatives du territoire français ont été sélectionnées :
 - Nancy : climat continental ;
 - Brest : climat océanique ;
 - La Pesse : climat de montagne.
- **Le ratio de surface des ouvertures de ventilation par rapport à la surface au sol du vide sanitaire** : trois valeurs ont été étudiées, correspondant à des pratiques réglementaires ou observées sur le terrain
 - 1/150
 - 1/250
 - 1/500
- **L'isolation périphérique du mur de soubassement** : l'effet de cette isolation a été évalué pour le cas du climat de Nancy, avec un ratio de ventilation de 1/150.
- **L'imperméabilisation du sol à l'aide d'une membrane (type film polyéthylène)** : l'influence de cette mesure a été étudiée également pour le climat de Nancy, avec un ratio de ventilation de 1/150, en présence ou en absence d'isolation périphérique du soubassement.

4.3 Cas d'étude

Le plancher bois étudié dans cette simulation est représentatif des systèmes couramment mis en œuvre en construction neuve. Sa composition typique est la suivante :

- Poutres en I ou solives en bois massif assurant la structure porteuse ;
- Panneau de fond de plancher à base de bois (type OSB3, contreplaqué ou panneaux de particules), fixé en sous-face des solives ou poutres ;
- Isolant thermique en laine minérale placé entre les solives, dans l'épaisseur de la structure ;
- Pare-vapeur positionné côté intérieur pour limiter les transferts de vapeur d'eau vers le plancher ;
- Voile travaillant (panneau support ou platelage supérieur) également en panneaux dérivés du bois (OSB3, contreplaqué ou panneaux de particules) ;
- En surface, différents types de revêtements de sol peuvent être envisagés, avec ou sans chape de béton, selon les usages et les contraintes de projet.

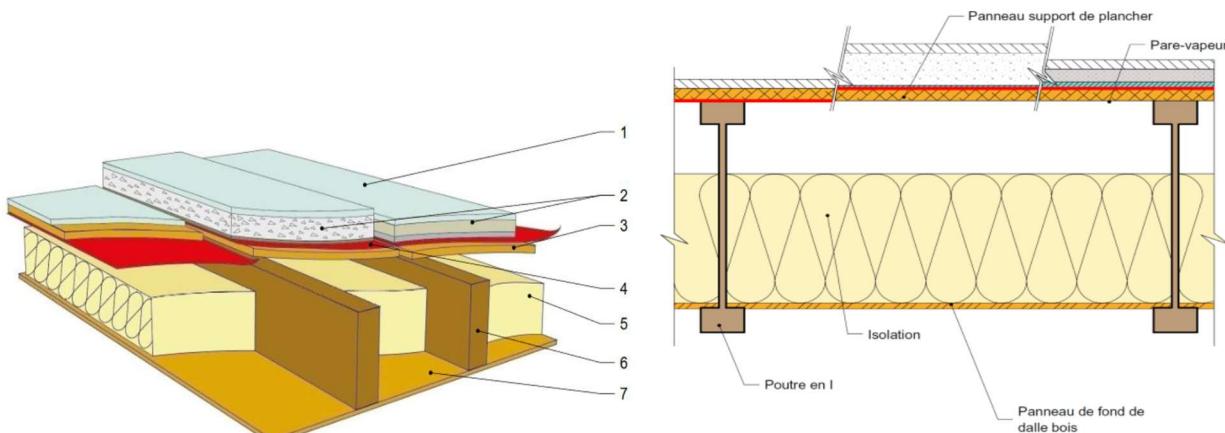


Figure 3 : Schéma de principe du plancher bois

Dans le cadre de cette étude, le cas du plancher en CLT (Cross Laminated Timber) a également été considéré, représentatif des solutions constructives récentes en construction bois. Deux configurations existent :

- CLT avec isolant au-dessus : le panneau CLT constitue le support porteur du plancher, l'isolant thermique est positionné sur sa face supérieure, sous le revêtement de sol. Cette configuration est couramment choisie pour faciliter la pose des réseaux techniques et des finitions intérieures.
- CLT avec isolant en dessous : le panneau CLT repose directement sur l'ossature ou les appuis périphériques, et l'isolant est fixé en sous-face. Cette solution offre un bon accès à la masse thermique du CLT pour le volume intérieur, mais nécessite un traitement soigné de l'étanchéité à l'air et à la vapeur côté inférieur.

Afin d'évaluer les flux de chaleur et de vapeur d'eau échangés entre le local chauffé et le vide sanitaire à travers le plancher, il n'a pas été jugé nécessaire de modéliser en détail la composition complète du plancher bois. Pour simplifier la modélisation numérique, un plancher équivalent a été considéré, conservant les principales caractéristiques thermiques et hygrothermiques du complexe réel. Ce plancher équivalent est composé des éléments suivants (du bas vers le haut) :

- Un panneau de fond de plancher en OSB3 de 18 mm
- Une couche d'isolant thermique de 220 mm, représentant la laine minérale entre solives, avec une conductivité thermique dégradée à $0,040 \text{ W/(m.K)}$ afin de tenir compte des ponts thermiques linéaires induits par la structure porteuse (solives ou poutres en I)
- Un pare-vapeur positionné côté intérieur, caractérisé par une valeur S_d de 18 m, conforme aux produits couramment utilisés en construction bois
- Un support de plancher en OSB3 de 22 mm.

Cette simplification permet de conserver un bon niveau de précision dans l'estimation des transferts hygrothermiques tout en limitant la complexité du modèle WUFI.

Au niveau de la jonction avec le plancher bois, la paroi verticale supérieure est constituée d'un mur à ossature bois, dont la composition (de l'extérieur vers l'intérieur) est la suivante :

- Un **bardage bois extérieur**, associé à une **lame d'air ventilée** ;
- Un **écran pare-pluie** avec une valeur S_d de 0,2 m, assurant l'étanchéité à l'eau tout en permettant la migration de vapeur vers l'extérieur ;
- Un panneau de contreventement en OSB de 12 mm ;
- Une **isolation thermique** de 220 mm en laine minérale, de conductivité thermique $\lambda = 0,035 \text{ W/(m.K)}$, insérée dans l'ossature ;
- Un **pare-vapeur** positionné côté intérieur, avec une valeur $S_d = 18 \text{ m}$;
- Un revêtement intérieur en plaque de plâtre de 13 mm.

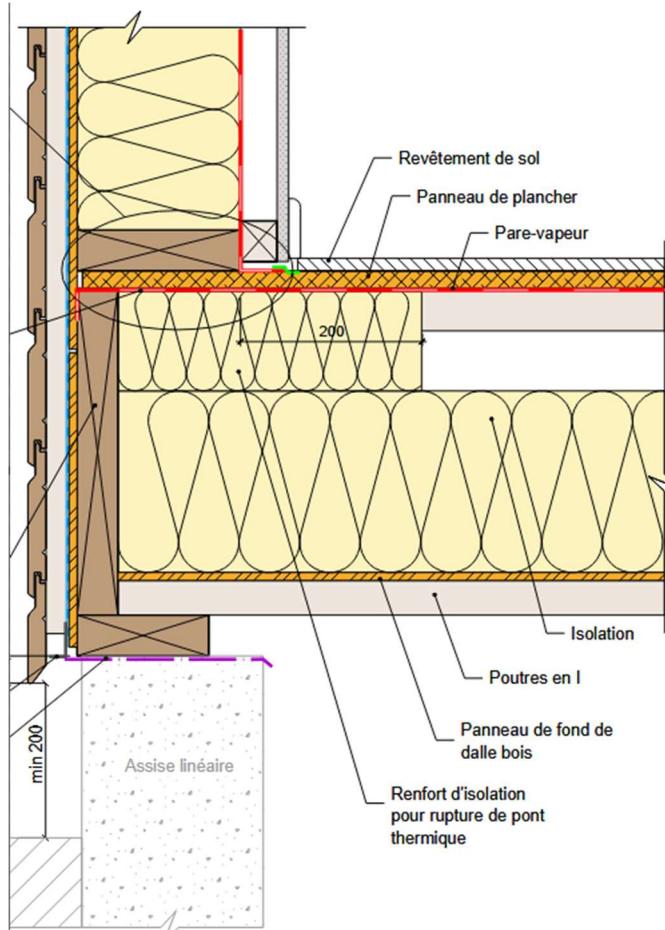


Figure 4 : Détail de la jonction du plancher avec le mur et le soubassement

Le mur de soubassement, en contact avec le vide sanitaire, est réalisé en **béton armé** de 150 mm d'épaisseur. Une variante d'étude intègre une **isolation périphérique** extérieure constituée de 100 mm de polystyrène extrudé (XPS).

Par ailleurs, une **coupure capillaire** est systématiquement prévue entre le soubassement et le plancher bois afin de limiter les remontées d'humidité par capillarité vers les éléments en structure bois.

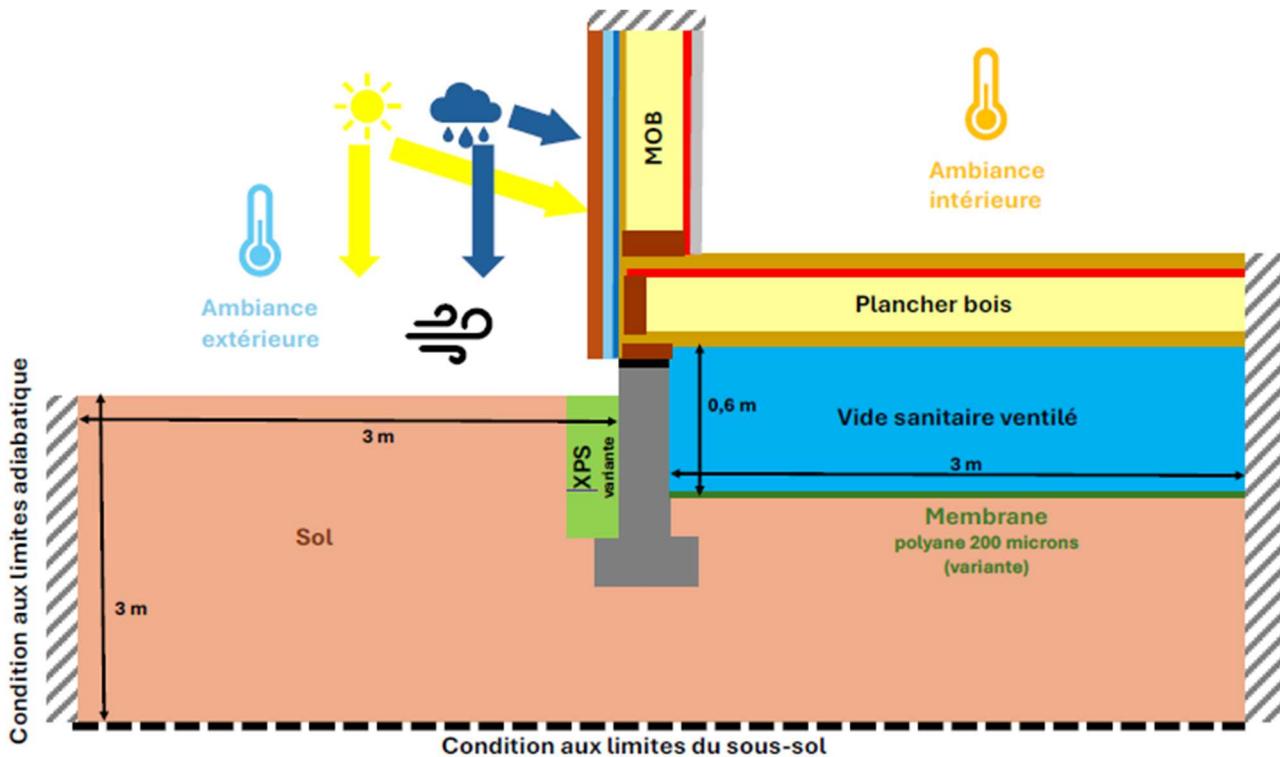


Figure 5 : Schéma du modèle numérique WUFI

4.4 Hypothèses

4.4.1 Généralités

Les hypothèses de modélisation retenues dans cette étude s'appuient en grande partie sur les recommandations du **guide technique SimHuBat** – « *Détermination des hypothèses pour les simulations de transferts couplés température / humidité dans les parois de bâtiments* ».

Les principales hypothèses sont les suivantes :

- **Orientation** : le mur exposé au climat extérieur est orienté **plein nord**, afin de représenter une situation défavorable en termes de séchage naturel.
- **Rayonnement solaire** : les effets du **rayonnement à ondes courtes** (solaire) sont pris en compte. Un **coefficients d'absorption solaire $\alpha = 0,2$** est considéré pour la façade extérieure (valeur défavorable pour le séchage), et $\alpha = 0,8$ pour le **sol extérieur (valeur standard)**.
- **Lame d'air** : la lame d'air entre le bardage et le pare-pluie est ventilée avec un taux de **20 vol/h**.
- **Exposition à la pluie battante** : les façades extérieures sont supposées non protégées, ce qui implique que les effets de la pluie battante sont pris en compte dans les conditions aux limites.
- **Humidité apportée par la pluie sur le sol extérieur** : l'apport de pluie n'est **pas modélisé via la condition aux limites extérieures** classique (paramètre *quantité de pluie adhérente* positionné sur "sans absorption"). À la place, un **terme source d'humidité** est appliqué sur une **profondeur de 10 cm** le long de la surface du sol exposée aux intempéries, afin de simuler l'infiltration d'eau de pluie dans les couches superficielles du sol. Sa valeur est fixée à **30 % de la charge de pluie incidente**.

4.4.2 Caractéristiques des matériaux

Les caractéristiques hygrothermiques des différents constituants du modèle ont été définies en accord avec les données issues de la littérature technique, notamment les bases de données WUFI® et le guide SimHuBat.

Le tableau ci-après présente les principales propriétés retenues pour chacun des matériaux utilisés dans la modélisation :

TABLEAU 2 : CARACTÉRISTIQUES DES CONSTITUANTS DE LA PAROI

Matériaux	Densité (kg/m³)	Porosité (m³/m²)	Capacité thermique (J/kg.K)	Conductivité thermique (W/m.K)	Facteur de résistance à la diffusion de vapeur d'eau
Isolant minéral	33	0,986	850	0,032	1,3
Isolant Fibre de bois	110	0,98	2100	0,040	5
Pare-vapeur Sd 18m	130	0,001	2300	2,3	18000
Sous-couche acoustique / polyane (Sd 75 m)	130	0,001	2300	2,3	75000
Parquet Chêne	685	0,72	1500	0,13	140
Parquet stratifié	800	0,42	1600	0,15	2500
Sol PVC (Sd 150 m)	130	0,001	2300	2,3	150000
Membrane pare-pluie (murs)	130	0,001	2300	2,3	180
Bois de structure (résineux)	455	0,73	1400	0,09	130
Panneau à base de bois (type OSB)	615	0,9	1400	0,13	175
Béton	2300	0,18	850	1,6	180

4.4.3 Ambiances extérieures et intérieures

Les conditions aux limites climatiques (température et humidité relative) utilisées dans les simulations correspondent à trois zones représentatives de différents contextes français :

- Une **zone de plaine à climat continental** : **Nancy**, caractérisée par des hivers froids et humides, représentative d'un climat intérieur des terres avec un fort gradient thermique saisonnier ;
- Une **zone à climat océanique** : **Brest**, marquée par des précipitations importantes, une humidité de l'air élevée et des variations thermiques modérées ;
- Une **zone de montagne** : **La Pesse**, située à environ **1100 m d'altitude**, présentant des conditions climatiques rigoureuses, avec des températures basses, une humidité relativement variable et une forte exposition au rayonnement.

Les climats de Nancy et de Brest sont considérés comme sévères pour des contextes de plaine, respectivement par leur froid hivernal et leur humidité persistante.

La définition des **conditions intérieures** repose sur la méthode décrite dans le guide SimHuBat, en considérant un **local sans système de conditionnement d'air** (chauffage en hivers à 20°C, sans déshumidification active), avec une **hygrométrie moyenne** représentative d'un usage résidentiel standard.

4.4.4 Condition aux limites du sous-sol (sol en profondeur)

Pour représenter l'influence du sol en profondeur dans les simulations, une **température variable selon un signal sinusoïdal annuel** est considérée. Ce signal a :

- une période d'un an,
- une valeur moyenne égale à la température annuelle moyenne de l'air extérieur,
- une amplitude de 1 °C,
- un maximum fixé au 1^{er} août.

Les températures moyennes retenues pour chaque climat sont les suivantes :

- Nancy : 11 °C
- Brest : 11,5 °C
- La Pesse : 7 °C

Du point de vue hygrométrique, une **humidité relative constante** de **99,1 %** est supposée tout au long de l'année dans le sol en profondeur, pour un sol quasi-saturé.

4.4.5 Conditions initiales

Les **conditions initiales** appliquées dans le modèle visent à **réduire la phase transitoire** et à permettre une **convergence plus rapide vers le régime d'équilibre hygrothermique**.

Ainsi :

- La **température initiale** est uniforme dans l'ensemble des matériaux et fixée à la **température moyenne annuelle extérieure** correspondant à chaque climat étudié ;
- L'**humidité relative initiale** est définie à **99,2 % dans le sol**, afin de représenter un état proche de la saturation, et à **80 % dans le reste des matériaux** (plancher, parois), valeur compatible avec une situation initiale modérément humide.

Ces hypothèses permettent de stabiliser le modèle plus rapidement sans générer de perturbations non physiques liées à des écarts initiaux excessifs.

4.4.6 Modèle de renouvellement d'air dans le vide sanitaire

Un terme source de renouvellement d'air, à partir de l'air extérieur, est appliqué dans le volume du vide sanitaire à l'aide d'un fichier donnant à chaque heure de l'année le taux de renouvellement en vol/h. Ce fichier est construit pour chaque cas de simulation en tenant compte :

- Du climat : température et humidité de l'air extérieur, vitesse du vent
- Géométrie du vide sanitaire : surface au sol et hauteur ;
- Ratio surfaces d'ouverture de ventilation sur surface au sol : 1/150, 1/250 ou 1/500.

Le calcul du renouvellement d'air s'appuie sur la norme NF EN ISO 13370 qui définit le **débit de renouvellement d'air V (en m³/s)** en comme suit :

$$V = 0,59 \cdot \epsilon \cdot P \cdot \nu \cdot f_w$$

où :

- ϵ est l'aire d'ouverture de ventilation divisée par le périmètre, en m^2/m ;
- P est le **périmètre du vide sanitaire**, en mètres (m) ;
- v est la vitesse nominale du vent à 10 m de hauteur, en m/s ;
- f_w est le facteur de protection contre le vent. Dans cette étude, la valeur la plus faible (0,02) a été choisie. Elle correspond à un milieu abrité.

En considérant les définitions suivantes :

- La surface de ventilation (en m^2) est égale à $\epsilon \cdot P$;
- Elle peut également s'exprimer comme le produit de la surface au sol par le ratio d'ouverture de ventilation r_{ventil} ;
- Le volume du vide sanitaire (en m^3) est défini comme la surface au sol multipliée par **sa hauteur h_{vs}** (en m) ;
- Le taux de renouvellement d'air (ACH, en volumes par heure) correspond au débit de ventilation (en m^3/s) multiplié par 3600 et divisé par le volume du vide sanitaire.

On aboutit alors à la formule suivante pour le **taux de renouvellement d'air horaire ACH** en (1/h) :

$$ACH = 0,59 \cdot r_{ventil} \cdot v \cdot f_w \cdot 3600/h_{vs}$$

À noter que dans cette approche, la répartition des ouvertures de ventilation selon les différentes orientations, ainsi que l'orientation réelle du vent, ne sont pas prises en compte. Cette simplification repose sur l'hypothèse d'un effet moyen global de la ventilation naturelle.

4.5 Résultats et traitement des données

À l'aide de l'outil WUFIGraph, il est possible de tracer et d'exporter au format CSV l'évolution horaire de la température et de l'humidité relative moyennes dans le volume entier du vide sanitaire (moyenne volumique).

Les données ainsi extraites permettent de générer un fichier climat intérieur au format .kli, compatible avec les logiciels WUFI® Pro et WUFI® 2D. Ce fichier peut ensuite être utilisé comme condition aux limites internes pour simuler, par exemple, le comportement hygrothermique d'un plancher bois en contact avec un vide sanitaire, sans avoir à modéliser de manière détaillée le vide sanitaire ni les interactions complexes avec le sol.

Cette approche directe permet de générer les conditions hygrothermiques dans le vide sanitaire à partir des données brutes issues des simulations. Un traitement complémentaire des données a également été réalisé afin d'identifier des corrélations entre les conditions climatiques extérieures et celles observées dans le vide sanitaire.

Les étapes suivantes ont été suivies :

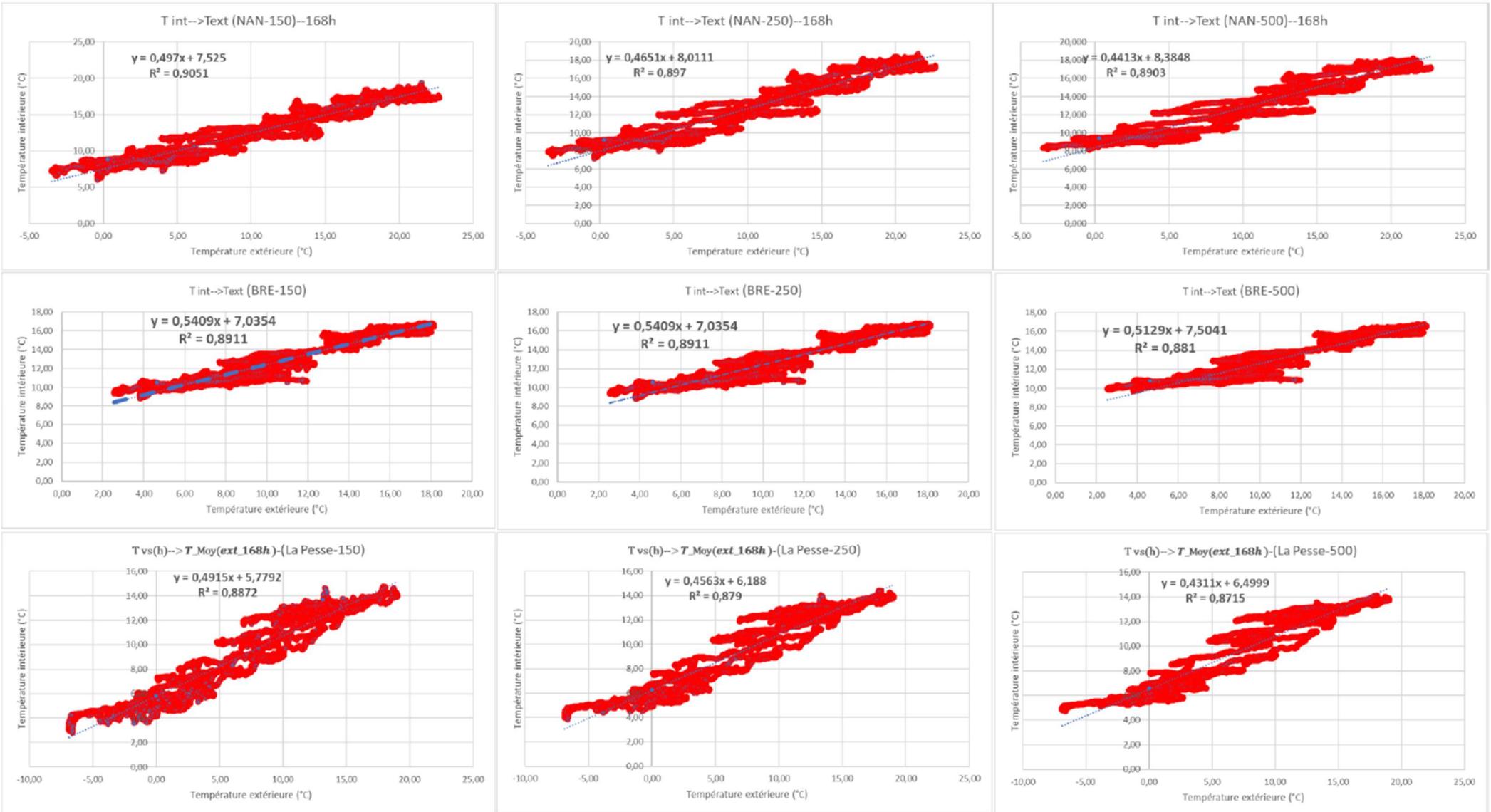
- **Calcul de l'humidité absolue** (en g/m^3) de l'air extérieur et de l'air du vide sanitaire, à partir des températures et humidités relatives simulées ;
- **Calcul d'une moyenne glissante sur 3 jours (72 h)** de l'humidité absolue de l'air extérieur, pour lisser les variations rapides et révéler les tendances hygrométriques ;
- **Calcul d'une moyenne glissante sur 7 jours (168 h)** de la température de l'air extérieur, pour lisser les fluctuations thermiques journalières et mieux prendre en compte l'inertie du sol ;
- **Traçage d'un nuage de points** représentant l'humidité absolue instantanée dans le vide sanitaire en fonction de l'humidité absolue extérieure moyennée sur 3 jours, et élaboration d'une régression permettant d'établir une relation fonctionnelle entre ces deux variables ;
- **Traçage d'un nuage de points** représentant la température instantanée dans le vide sanitaire en fonction de la température extérieure moyennée sur 7 jours, suivi également de l'élaboration d'une régression.

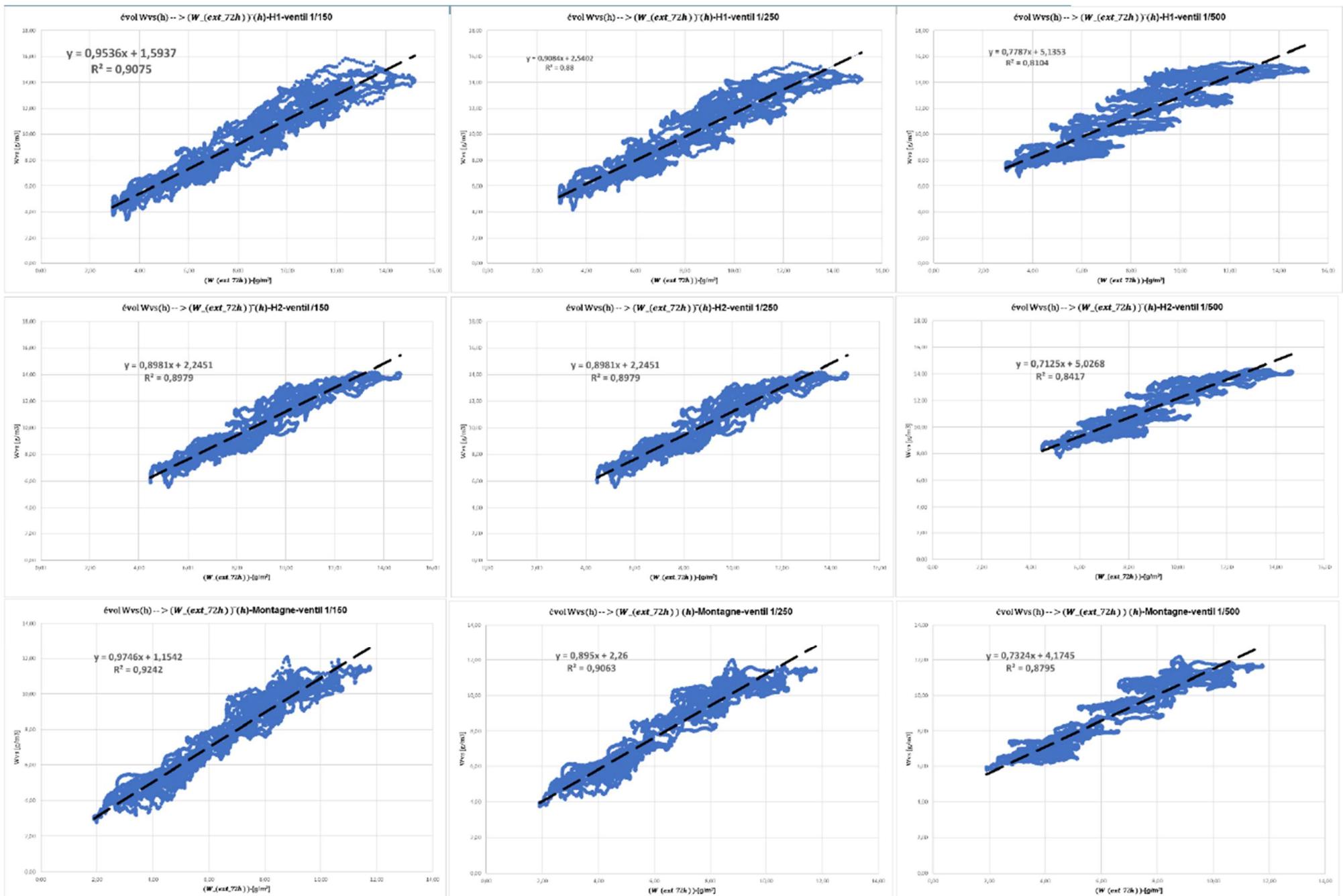
Ce traitement permet d'obtenir des modèles empiriques simples, utilisables pour prédire les conditions dans un vide sanitaire en fonction du climat extérieur, sans recourir à une simulation complète.

Les deux pages suivantes présentent les nuages de points ainsi que les droites de régression associées, illustrant respectivement les relations entre :

- la température dans le vide sanitaire et la température extérieure moyennée sur 7 jours ;
- l'humidité absolue dans le vide sanitaire et l'humidité absolue extérieure moyennée sur 3 jours.

Ces représentations graphiques permettent de visualiser la corrélation entre les conditions climatiques extérieures et l'environnement intérieur du vide sanitaire simulé.





Les deux tableaux suivants résument les résultats des régressions linéaires établies à partir des données simulées, pour l'ensemble des cas étudiés. Les coefficients **a** et **b** correspondent respectivement à la pente et à l'ordonnée à l'origine de la droite de régression, ajustée entre :

- la température dans le vide sanitaire et la température extérieure moyennée sur 7 jours ;
- l'humidité absolue dans le vide sanitaire et l'humidité absolue extérieure moyennée sur 3 jours.

TABLEAU 3 : COEFFICIENTS DE LA REGRESSION LINEAIRE POUR LA TEMPERATURE EN °C

Climat	Ratio d'ouverture de ventilation du vide sanitaire	a	b
Nancy	1/150	0,50	7,5
	1/250	0,47	8,0
	1/500	0,44	8,4
Brest	1/150	0,54	7,0
	1/250	0,54	7,0
	1/500	0,51	7,5
La Pesse	1/150	0,49	5,8
	1/250	0,46	6,2
	1/500	0,43	6,5

TABLEAU 4 : COEFFICIENTS DE LA REGRESSION LINEAIRE POUR L'HUMIDITE ABSOLUE EN G D'EAU PAR M³

Climat	Ratio d'ouverture de ventilation du vide sanitaire	a	b
Nancy	1/150	0,95	1,6
	1/250	0,90	2,3
	1/500	0,97	1,2
Brest	1/150	0,91	2,5
	1/250	0,90	2,3
	1/500	0,90	2,3
La Pesse	1/150	0,78	5,1
	1/250	0,71	5,0
	1/500	0,73	4,2

Les résultats présentés dans les tableaux précédents permettent d'identifier plusieurs tendances intéressantes selon le climat et le niveau de ventilation du vide sanitaire. Une analyse croisée des coefficients met en évidence les influences respectives du contexte climatique et des paramètres de conception sur les conditions hygrothermiques internes.

Influence du climat extérieur :

On observe d'abord une dépendance claire au climat dans les deux tableaux :

- Pour la température dans le vide sanitaire (Tableau 2), l'ordonnée à l'origine **b** décroît avec la rigueur du climat : elle est plus élevée à Brest (climat océanique doux), intermédiaire à Nancy, et plus faible à La Pesse (climat montagnard froid). Cela reflète l'influence du niveau thermique moyen extérieur sur la température « de base » du vide sanitaire, indépendamment des variations à court terme.
- Pour l'humidité absolue (Tableau 3), le même effet est visible mais à l'inverse : les valeurs de **b** sont nettement plus élevées à La Pesse que dans les deux autres climats, traduisant un moindre séchage du vide sanitaire en climat de montagne (air plus froid = capacité à contenir de la vapeur plus faible → moindre gradient hydrique).

Influence du ratio d'ouverture de ventilation :

L'augmentation du ratio d'ouverture de ventilation tend, dans l'ensemble, à :

- augmenter le coefficient directeur **a** pour la température : un ratio plus élevé renforce l'influence de la température extérieure sur celle du vide sanitaire. Cela se traduit par une meilleure « couplage » thermique entre l'extérieur et l'intérieur du VS, notamment à Nancy et La Pesse, où la pente diminue clairement en passant de 1/150 à 1/500.
- avoir un effet plus variable pour l'humidité absolue : à Brest (climat très humide), les coefficients **a** et **b** restent stables, indiquant que la ventilation n'a qu'un effet limité sur l'humidité absolue. En revanche, à Nancy et La Pesse, une ventilation plus faible (1/500) semble parfois associée à une pente plus élevée, possiblement liée à une stagnation de l'humidité interne et une forte dépendance à l'humidité extérieure. Cela suggère un rôle complexe de la ventilation selon le contexte : elle peut favoriser le séchage mais aussi introduire de l'humidité extérieure dans certaines conditions.

Interprétation globale

- Les températures dans le vide sanitaire sont modérément corrélées à la température extérieure, avec des pentes comprises entre 0,43 et 0,54, indiquant un effet amorti du climat (le VS agit comme un tampon thermique).
- L'humidité absolue présente une corrélation plus forte avec l'extérieur, en particulier à Nancy et Brest, avec des pentes proches de 0,9–0,97. Cela montre que l'humidité extérieure pénètre rapidement dans le vide sanitaire.

Enfin, à La Pesse, les pentes plus faibles et les offsets élevés sur l'humidité absolue indiquent un comportement spécifique du climat montagnard, où l'air plus froid mais humide entraîne une dynamique interne différente (moins de séchage par ventilation naturelle, maintien de conditions humides).

Impact de l'isolation périphérique du soubassement

L'analyse des simulations montre que l'effet de l'isolation périphérique du soubassement sur la température dans le vide sanitaire dépend du niveau thermique initial (évalué sans isolation périphérique).

- Lorsque la température du vide sanitaire (sans isolation périphérique) est inférieure à 10 °C, l'ajout de l'isolation entraîne une augmentation moyenne de 5 % de cette température. Cela traduit un effet de confinement thermique en période froide, limitant les déperditions latérales vers l'extérieur via les parois enterrées.
- En revanche, lorsque la température du vide sanitaire dépasse 10 °C, l'ajout de l'isolation périphérique provoque une diminution moyenne de 10 % de la température. Ce comportement s'explique par une

réduction des échanges thermiques avec le sol ou l'environnement extérieur, pouvant entraîner un refroidissement.

L'humidité absolue reste globalement inchangée entre les deux configurations. Cependant, la température modifiée par l'isolation influence la pression de vapeur saturante, et donc l'humidité relative, qui peut être sensiblement affectée même sans variation de l'humidité absolue.

Pour évaluer les conditions dans le vide sanitaire en présence d'une isolation périphérique du soubassement, la démarche retenue consiste à réaliser une évaluation sans isolation, puis à appliquer une correction sur la température du vide sanitaire en fonction de la température obtenue dans cette configuration.

Deux régimes sont considérés :

- Si la température du vide sanitaire (sans isolation périphérique) est inférieure à 10 °C, on applique une majoration de 5 % à cette température ;
- Si elle est supérieure à 10 °C, on applique une minoration de 10 %

Impact de l'imperméabilisation du sol du vide sanitaire :

L'analyse des simulations montre que l'effet de l'imperméabilisation du sol sur l'humidité relative dans le vide sanitaire dépend du niveau initial d'humidité absolue, évalué sans couche d'étanchéité. Ce niveau d'humidité absolue varie au cours de l'année, avec des valeurs majoritairement supérieures à 8 g/m³ pendant la période estivale (mai à septembre).

- Lorsque l'humidité absolue est inférieure à 8 g/m³ (notamment en période froide), l'ajout d'une membrane imperméabilisante entraîne une augmentation moyenne de 22 % de l'**humidité relative**. Cela s'explique par une élévation modérée de la température dans le vide sanitaire, combinée à une stagnation de la teneur en vapeur d'eau (non évacuée via le sol). La pression de vapeur saturante augmentant plus vite que la pression réelle, l'humidité relative s'élève mécaniquement.
- À l'inverse, lorsque l'humidité absolue est supérieure à 8 g/m³ (essentiellement entre mai et septembre), l'imperméabilisation du sol conduit à une réduction moyenne de 10 % de l'humidité relative. Dans ce cas, l'absence de transfert d'humidité en provenance du sol, combinée à une ventilation plus efficace, favorise la diminution de la concentration en vapeur d'eau, malgré des températures plus élevées.

Pour évaluer les conditions dans le vide sanitaire avec une membrane d'étanchéité au sol, la méthode retenue consiste à effectuer une évaluation sans imperméabilisation, puis à corriger l'humidité relative selon le niveau d'humidité absolue :

- Si l'humidité absolue est < 8 g/m³, appliquer une **majoration de 22 %** sur l'humidité relative ;
- Si l'humidité absolue est ≥ 8 g/m³, appliquer une **minoration de 10 %**.

4.6 Conclusion partielle

Cette étude a permis de caractériser les conditions hygrothermiques dans les vides sanitaires en construction neuve à plancher bois, à travers une série de simulations paramétriques réalisées avec le logiciel WUFI®. L'objectif était de produire des conditions aux limites réalistes pour l'évaluation du comportement des parois en contact avec ces vides, tout en identifiant les facteurs influents majeurs.

Les résultats ont mis en évidence :

- une forte corrélation entre les conditions extérieures et l'environnement interne du vide sanitaire, avec des régressions linéaires robustes reliant température et humidité absolue internes aux données climatiques moyennées ;
- l'impact du ratio de ventilation naturelle, qui module l'amplitude des variations hygrothermiques internes

- l'effet saisonnier de l'isolation périphérique, qui tend à limiter les déperditions thermiques en hiver et peut induire un refroidissement relatif en été ;
- le rôle de l'imperméabilisation du sol, dont l'influence sur l'humidité relative dépend du régime hydrique, avec un effet bénéfique en période humide mais parfois défavorable en période sèche.

Sur cette base, des modèles simplifiés et empiriques ont été élaborés afin de corriger les résultats de simulations de référence (sans isolation périphérique ni membrane au sol), permettant ainsi de reconstituer les effets de différentes configurations sans multiplier les campagnes de simulation complexes.

Par ailleurs, des fichiers climat au format .kli ont été générés pour chacun des cas étudiés. Ces fichiers sont directement utilisables dans les logiciels WUFI® Pro et WUFI® 2D en tant que conditions aux limites internes. Ils accompagnent ce livrable sous la forme d'un fichier compressé (.zip).

Les conditions de température et d'humidité relative obtenues pour le vide sanitaire dans le cadre de cette étude sont applicables aux principaux systèmes de planchers bois, qu'ils soient réalisés en solives traditionnelles, en poutres en I en bois, ou en panneaux CLT.

Ces travaux apportent des outils opérationnels pour les bureaux d'étude, chercheurs ou industriels souhaitant simuler les performances hygrothermiques de parois en contact avec un vide sanitaire, tout en tenant compte de l'influence des conditions climatiques, des solutions constructives et des choix de ventilation.

5 Evaluation de la salubrité des planchers bas en bois sur vide sanitaire par modélisations hygrothermiques

5.1 Cahier des charges des modélisations

5.1.1 Présentation des moyens de calculs

Le logiciel utilisé « WUFI » est un logiciel du commerce qui permet de simuler les transferts thermiques, de vapeur d'eau et d'eau liquide.

Ce logiciel permet, à partir des paramètres d'entrée, de déterminer la température et l'humidité en tous points des produits constituant la paroi.

5.1.2 Hypothèses de calcul

Les calculs sont réalisés pour simuler les transferts sur une période de trois ans et pour des locaux situés à Nancy, Brest et en climat de montagne.

Les calculs sont réalisés selon les hypothèses du Guide PACTE « SimHuBat » - Détermination des hypothèses pour les simulations de transferts couplés température / humidité dans les parois de bâtiment, et les climats des vides sanitaires, ont été spécifiquement créés pour les besoins de la présente étude (voir chapitre 4 ci-dessus).

Les membranes utilisées dans une paroi sont considérées comme continues, sans discontinuité ponctuelle, et correctement mises en œuvre.

5.1.3 Données nécessaires aux modèles

Les paramètres d'entrée pour chaque constituant sont les suivants :

- la résistance à la diffusion de vapeur d'eau (μ , sans dimension) ($\mu = S_d/e$),
- la courbe de sorption (variation de la teneur en eau d'un produit en équilibre dans des ambiances à différents taux d'humidité),
- la conductivité thermique (λ , en W/(m.K)),
- la chaleur spécifique (C_p , en J/(kg.K)),
- la porosité (sans dimension),
- la masse volumique (ρ , en kg/m³).

5.1.4 Présentation des parois à modéliser

Les variables à prendre en compte pour la constitution des planchers sont :

- Le type de plancher
- Le complexe de revêtement de sol situé au-dessus de l'élément de plancher
- La sous-face du plancher
- La nature et la position des isolants
- Les variantes sur le vide sanitaire

Le type de plancher peut être :

- Plancher traditionnel : solivage + panneau
 - solivage en bois massif

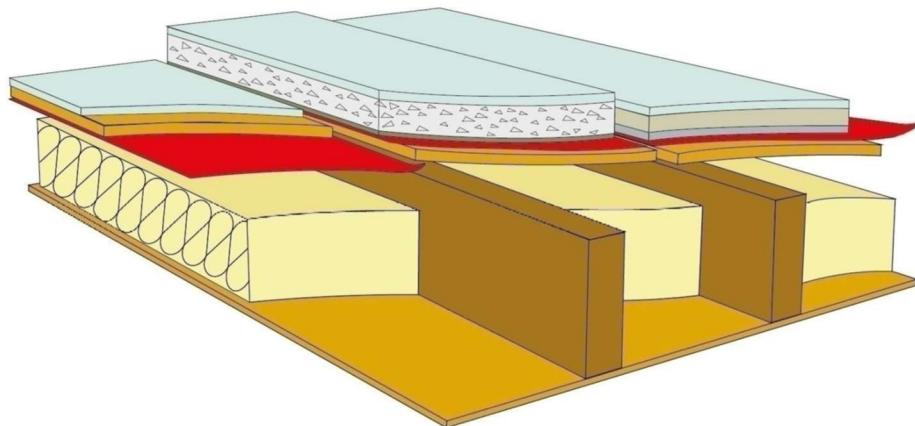


Figure 6 : Schéma de principe d'un plancher bas sur vide sanitaire, solivage massif

- solivage poutre en I

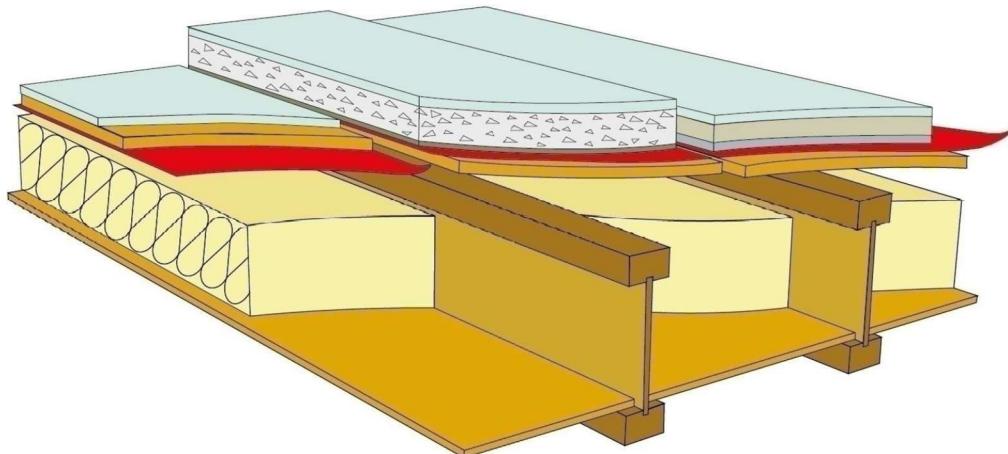


Figure 7 : Schéma de principe d'un plancher bas sur vide sanitaire, solivage massif

- Plancher CLT

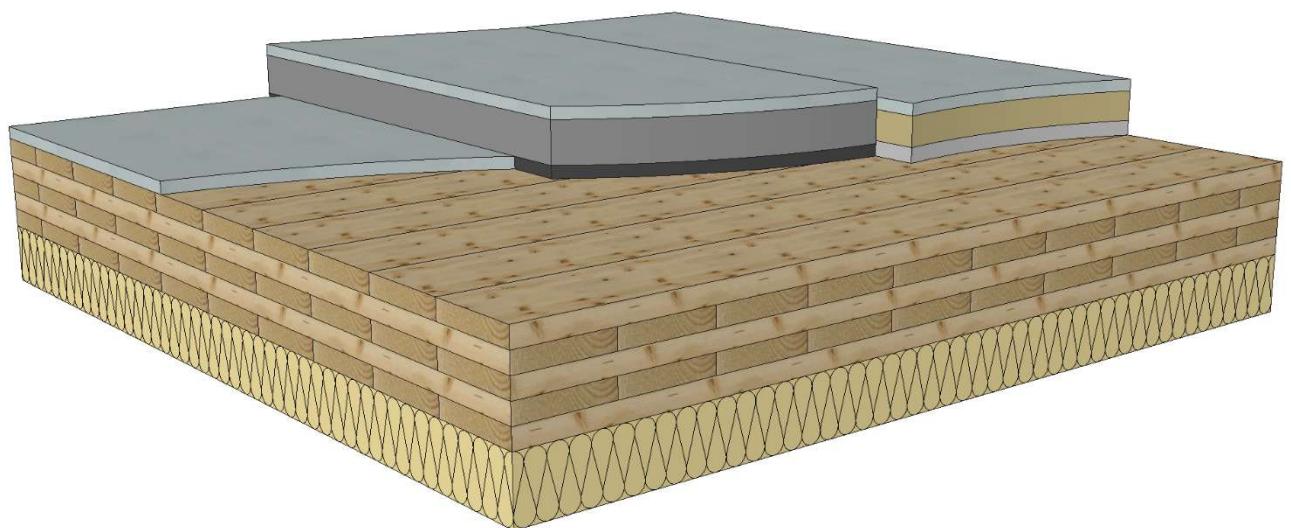


Figure 8 : Schéma de principe d'un plancher bas sur vide sanitaire CLT isolé par le dessous

Les solivages modélisés seront de section 45 x 220 et le panneau de type OSB3 d'épaisseur 18mm. Le CLT modélisé est un CLT 5 plis d'épaisseur de 150 mm.

La poutre en I sera composée de membrures en bois massif de section 45x45 et d'une âme en panneau OSB de 10 mm d'épaisseur, pour une hauteur de poutre de 220 mm.

Au-dessus du plancher, les variantes peuvent être :

- Présence ou absence d'une membrane pare-vapeur de $S_d = 18\text{ m}$
 - Présence ou absence de chape humide (avec membrane polyane sous la chape)
 - Présence ou absence d'une sous-couche acoustique sous le revêtement de sol
 - Niveau d'étanchéité du revêtement de sol, définit selon l'annexe B du DTU 51.3 :
 - Non étanche (exemple : parquet en Chêne d'épaisseur 22mm)
 - Non respirant (exemple : sol stratifié, sol caoutchouc, textile avec sous-couche)
 - Etanche (exemple : sol souple PVC)
- ⇒ Une barrière à la vapeur d'eau équivalente à la superposition des couches sera modélisée

Sous le plancher les variantes peuvent être :

- Présence ou absence d'un panneau à base de bois pour supporter l'isolant dans le cas des planchers solivés (panneau OSB 3 de 12 mm)

Pour les isolants les variantes sont :

- Nature et position dans le cas du CLT (laine minérale ou fibres de bois, au -dessus ou au-dessous du plancher)
- Nature dans le cas des planchers solivés (laine minérale ou fibres de bois)
- Epaisseur de l'isolant (160 mm – 220 mm)

Remarque : Bien que visés ni dans les Règles de l'Art actuelles ni par aucun Avis Technique ou DTA, les isolants en fibres de bois sont envisagés dans le plan d'expérience pour évaluer la faisabilité de leur mise en œuvre

Pour le vide sanitaire, les variantes sont :

- Le niveau de ventilation (150ème, 250ème, 500ème)
- Le niveau de perméabilité du sol : présence ou absence d'un film PE $S_d = 100\text{m}$ (barrière anti-termites par exemple)
- La présence ou l'absence d'une isolation périphérique autour du soubassement

Pour les liaisons entre le plancher bas et le soubassement avec un mur extérieur à ossature bois :

- Plancher posé sur le soubassement (périphérie du vide sanitaire) – cas des planchers solivés
- Plancher posé sur le soubassement en périphérie du vide sanitaire – cas des planchers CLT isolés par le dessous
- Plancher posé sur le soubassement en périphérie du vide sanitaire – cas des planchers CLT isolés par le dessus
- Plancher posé côté intérieur du soubassement (cas de ventilation périphérique par cours anglaises)
- Plancher posé sur le refend de soubassement – cas des planchers CLT isolés par le dessous

5.1.5 Caractéristiques des produits composant les parois

Les caractéristiques générales des constituants sont données dans le tableau du chapitre 4.2.2 ci-dessus.

5.1.6 Ambiance extérieure

Les climats utilisés sont ceux issus de données Meteonorm, conformément au Guide SimHuBat, au pas de temps horaire pour les climats :

- De Nancy
- De Brest
- De La Pesse (climat de montagne)

S'agissant de parois donnant dans un vide sanitaire, les effets de la pluie battante et le rayonnement ne seront pas pris en compte.

5.1.7 Ambiance intérieure

Les locaux sont considérés comme à hygrométrie moyenne.

Les climats intérieurs sont construits selon les prescriptions du Guide PACTE SimHuBat (abaque de température et abaque d'excès d'humidité)

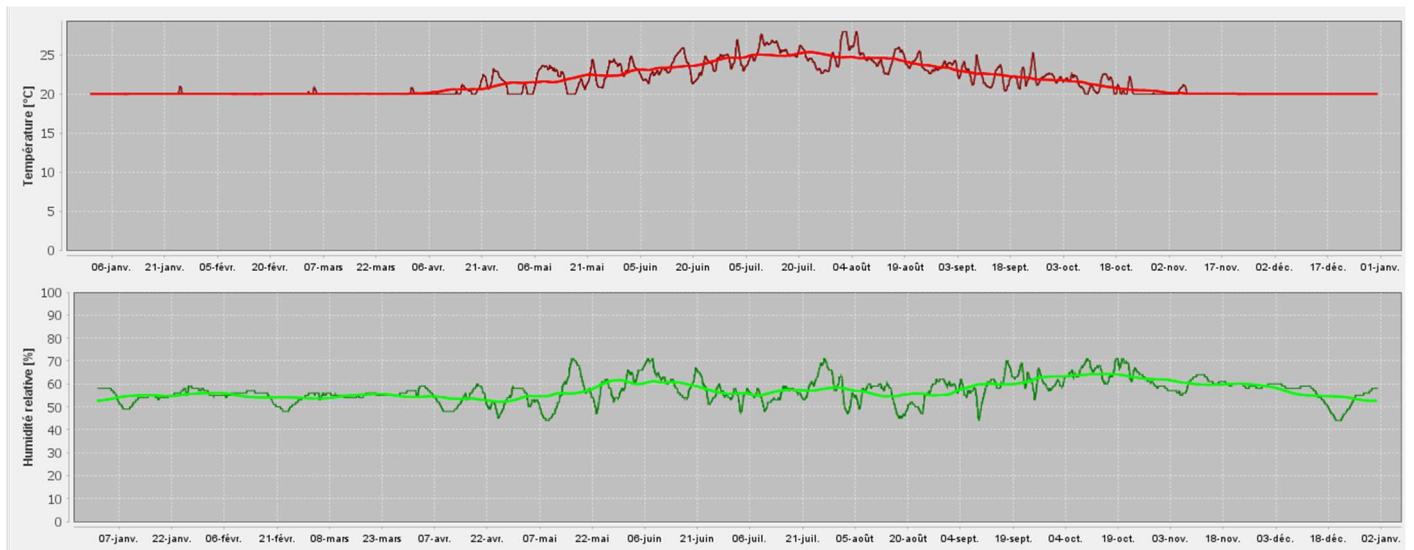


Figure 9 : Variation de la température et de l'humidité relative au cours d'une année pour un local à moyenne hygrométrie – exemple pour le climat de Nancy

5.1.8 Climats dans les vides sanitaires

Les climats dans les vides sanitaires sont ceux créés par le CSTB, comme indiqué au chapitre 4 du présent rapport.

Les conditions de température et d'humidité relative obtenues pour le vide sanitaire dans le cadre de cette étude sont applicables aux principaux systèmes de planchers bois, qu'ils soient réalisés en solives traditionnelles, en poutres en I en bois, ou en panneaux CLT.

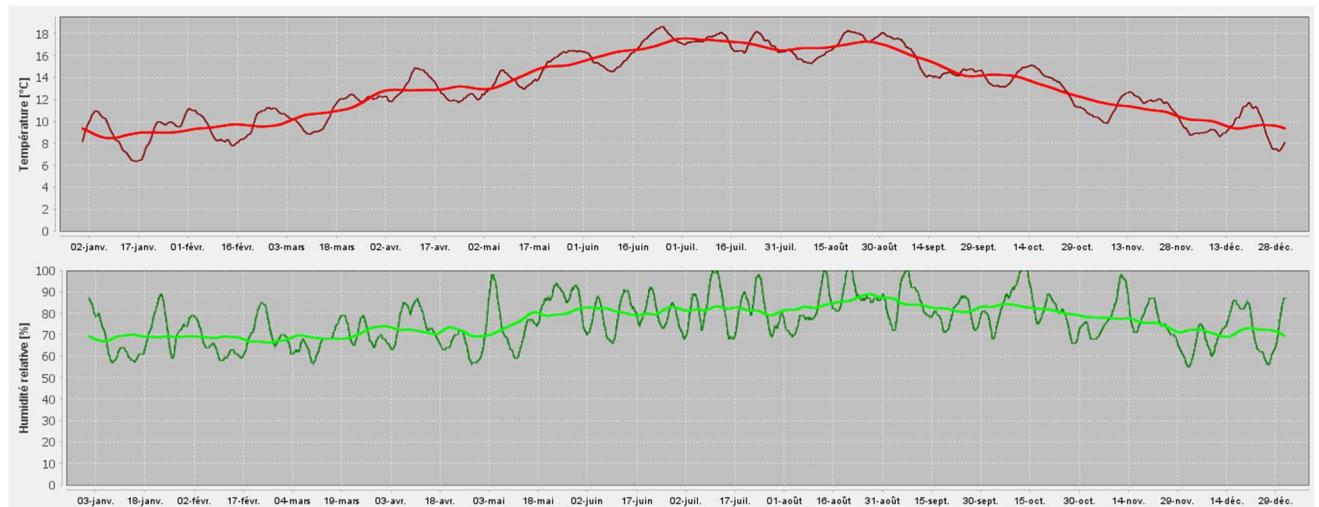


Figure 10 : Variation de la température et de l'humidité relative au cours d'une année à Nancy dans un vide sanitaire ventilé au 1/150^{ème}, sans étanchéité au sol, sans isolant périphérique

5.1.9 Tableau des configurations calculées

Cas de calcul	Climat	Planchers solivés																				
		Solivage		Sous-face		Epaisseur d'isolant		Nature de l'isolant		Niveau d'étanchéité du revêtement de sol (selon DTU 51.3)		Présence pare-vapeur au-dessus du plancher		Niveau de ventilation du vide sanitaire			Isolation de la périphérie du soubassement		Imperméabilisation du sol du vide sanitaire			
		Poutre en I	Bois massif	OSB3 12 mm	Membrane Sd 0,18m	160 mm	220 mm	Laine minérale	Fibre de bois	Non étanche (parquet chêne 22 mm)	Etanches (PVC) Sd = 150 m	oui	non	1/150	1/250	1/500	oui	non	oui	non		
1	Nancy	X		X		X		X	*	X		X		X			X		X			
2	Nancy		X	X		X		X	*	X		X		X			X		X			
3	Brest		X	X		X		X	*	X		X		X			X		X			
4	Montagne		X	X		X		X	*	X		X		X			X		X			
5	Brest		X		X	X		X	*	X		X		X			X		X			
6	Brest		X	X			X	X	*	X		X		X			X		X			
7	Brest		X	X			X	X	*		X	X		X			X		X			
8	Brest		X	X		X		X	*	X			X	X			X		X			
9	Brest		X	X		X		X	*	X		X			X			X		X		
10	Brest		X	X		X		X	*	X		X				X		X		X		
11	Nancy		X	X		X		X	*	X		X				X		X		X		
12	Nancy		X	X		X		X	*	X		X			X			X		X		
13	Montagne		X	X		X		X	*	X		X			X			X		X		
14	Nancy		X	X		X		X	*	X		X		X			X		X		X	
15	Nancy		X	X		X		X	*	X		X		X			X		X		X	
16	Nancy		X	X		X		X	*	X		X		X			X		X		X	

* Au regard des résultats sur les modélisations avec laine minérale, et des niveaux d'humidité constatés, aucune modélisation avec fibre de bois n'a été réalisée.

Planchers CLT																		
Cas de calcul	Climat	Position de l'isolant		Epaisseur d'isolant		Nature de l'isolant		Niveau d'étanchéité du revêtement de sol (selon DTU 51.3)		Présence pare-vapeur au-dessus du plancher		Niveau de ventilation du vide sanitaire			Isolation de la périphérie du soubassement		Imperméabilisation du sol du vide sanitaire	
		Au-dessus du CLT	Sous le CLT	160 mm	220 mm	Laine minérale	Fibre de bois	Non étanche (parquet chêne 22 mm)	Etanches (PVC) Sd = 150 m	oui	non	1/150	1/250	1/500	oui	non	oui	non
17	Nancy	X		X		X	*	X		X		X				X		X
18	Brest	X		X		X	*	X		X		X				X		X
19	Brest		X	X		X	*	X			X	X				X		X
20	Nancy		X	X		X	*	X			X	X				X		X
21	Montagne		X	X		X	*	X			X	X				X		X
22	Brest		X	X		X	*		X		X	X				X		X
23	Brest		X	X		X	*	X			X		X			X		X
24	Nancy		X	X		X	*	X			X	X				X		X
25	Nancy		X	X		X	*	X			X	X				X		X

* Au regard des résultats sur les modélisations avec laine minérale, et des niveaux d'humidité constatés, aucune modélisation avec fibre de bois n'a été réalisée.

Points singuliers																
26	Plancher posé sur le soubassement (périphérie du vide sanitaire) – cas des planchers solivés															
27	Plancher posé sur le soubassement en périphérie du vide sanitaire – cas des planchers CLT isolés par le dessous															
28	Plancher posé sur le soubassement en périphérie du vide sanitaire – cas des planchers CLT isolés par le dessus															
29	Plancher posé côté intérieur du soubassement (cas de ventilation périphérique par cours anglaises)															
30	Plancher posé sur refend de soubassement – cas des planchers CLT isolés par le dessous															

5.2 Résultats pour les planchers avec solivage

5.2.1 Localisation des relevés H% et HR sur le modèle WUFI

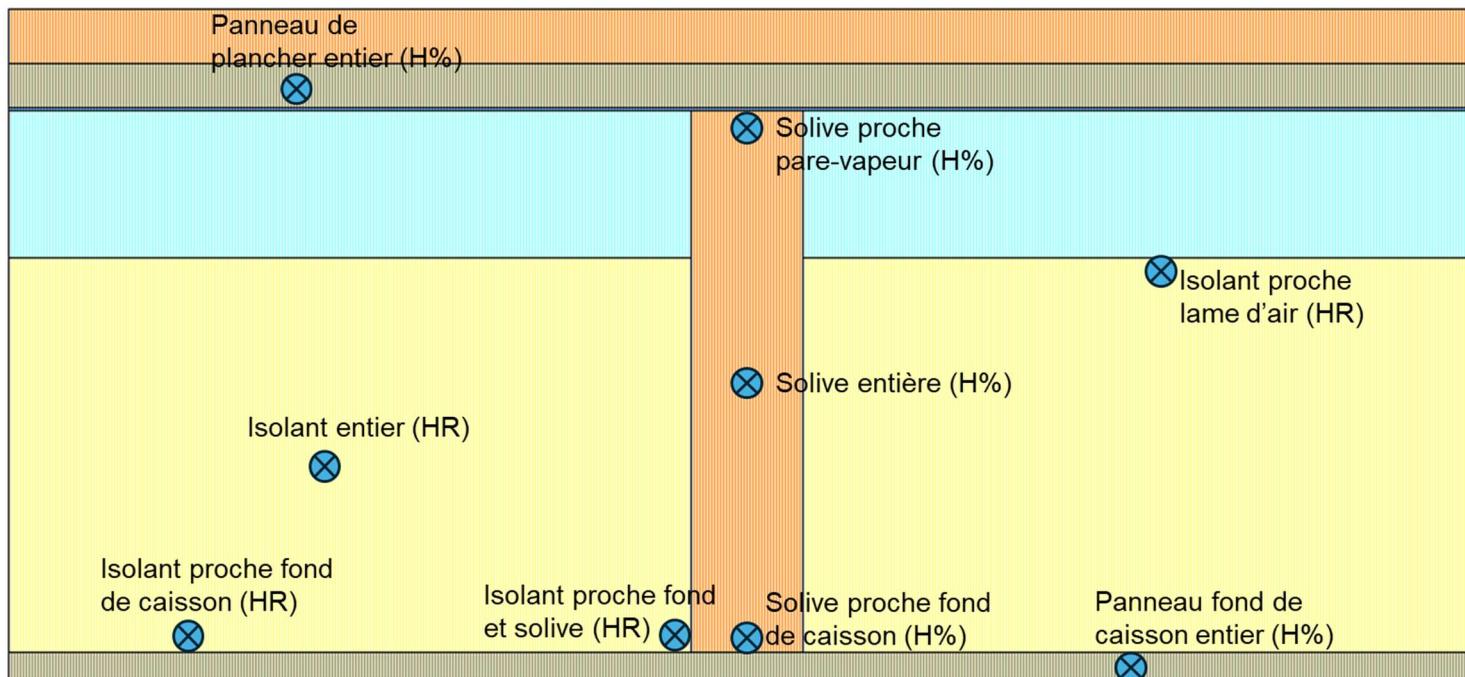


Figure 11 : Localisation des relevés massiques dans le bois ou les éléments à base de bois (H%) et des relevés d'humidité relative dans l'isolant (HR) – plancher solivé

Ont été relevés pour chaque cas modélisé :

- la tendance sur le modèle entier, permettant de visualiser la capacité de la paroi à s'assécher d'une année sur l'autre
- pour chaque point listé sur la figure 11 ci-dessus :
 - l'humidité H% ou HR la 1^{ère} année de la modélisation
 - l'humidité H% ou HR la 5^{ème} année de la modélisation

Figure également dans le tableau de résultat ci-dessous un 1^{er} niveau d'interprétation, à savoir le respect ou non des critères de salubrités fixés par le Guide SimHuBat.

5.2.2 Résultats pour le bois et les panneaux

	tendance modèle entier	Soline entière			Soline proche pare-vapeur			Soline proche fond de caisson			Panneau fond de caisson entier			Panneau plancher		
		H% max 1ère année	H% max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat	H% max 1ère année	H% max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat	H% max 1ère année	H% max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat	H% max 1ère année	H% max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat	H% max 1ère année	H% max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat
cas 1	baisse	13,2	13,1	non	10,8	10,6	non	15,6	15,4	non	16,4	16,3	non	12,3	12,1	non
cas 2	baisse	13,4	12,3	non	11,1	10,5	non	18,3	17,1	non	16,8	16,4	non	12,3	12,1	non
cas 3	baisse	14,7	13,9	non	11,8	11,5	non	20,7	19,9	non	20,0	19,6	non	12,9	12,7	non
cas 4	baisse	13,4	12,4	non	10,4	9,9	non	20,3	18,9	non	19,2	18,3	non	12,4	12,0	non
cas 5	baisse	14,6	14,4	non	11,9	11,8	non	22,2	22,1	non	NA	NA	NA	12,9	12,7	non
cas 6	baisse	15,3	14,7	non	11,8	11,6	non	20,7	20,2	non	19,7	19,4	non	12,9	12,6	non
cas 7	baisse	15,5	14,3	non	11,6	11,1	non	21,3	20,2	non	19,3	18,5	non	12,2	11,9	non
cas 8	stable	15,4	14,4	non	12,2	11,8	non	21,4	20,4	oui	20,3	19,6	non	12,5	12,3	non
cas 9	baisse	15,1	14,5	non	12,0	11,7	non	21,5	20,9	oui	20,5	20,0	non	12,9	12,7	non
cas 10	stable	16,2	16,3	oui	12,5	12,4	non	23,0	23,5	oui	24,0	23,9	oui	12,9	12,7	non
cas 11	stable	16,0	15,9	non	12,4	12,3	non	24,8	25,1	oui	24,3	24,0	oui	12,4	12,3	non
cas 12	baisse	13,8	12,8	non	11,3	10,8	non	19,2	18,1	non	17,5	17,0	non	12,3	12,1	non
cas 13	baisse	13,9	13,0	non	10,6	10,2	non	21,7	20,9	oui	21,0	20,1	non	12,3	12,0	non
cas 14	baisse	13,2	13,0	non	10,8	10,5	non	20,5	19,5	non	19,3	18,7	non	12,3	12,1	non
cas 15	baisse	13,5	13,2	non	11,0	10,4	non	20,1	19,2	non	18,6	17,8	non	12,3	12,1	non
cas 16	baisse	13,7	12,4	non	10,7	10,1	non	19,4	18,2	non	17,3	16,9	non	12,3	12,1	non

5.2.3 Résultats pour les isolants

	Isolant entier			Isolant proche fond caisson			Isolant proche fond et solive			isolant proche lame d'air		
	HR max 1ère année	HR max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat	HR max 1ère année	HR max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat	HR max 1ère année	HR max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat	HR max 1ère année	HR max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat
cas 1	70	69	non	86	85	non	86	85	non	61	60	non
cas 2	71	68	non	87	84	non	86	83	non	63	60	non
cas 3	75	74	non	95	91	non	91	89	non	64	63	non
cas 4	72	69	non	93	91	non	91	88	non	60	57	non
cas 5	80	80	non	96	96	non	94	94	non	68	67	non
cas 6	75	74	non	92	90	non	91	89	non	NA	NA	NA
cas 7	74	71	non	93	91	non	92	89	non	NA	NA	NA
cas 8	77	75	non	95	94	non	94	92	non	65	64	non
cas 9	77	75	non	96	94	non	94	92	non	65	64	non
cas 10	81	81	non	98	98	oui	96	96	non	68	68	non
cas 11	81	80	non	98	98	oui	96	96	non	71	70	non
cas 12	72	69	non	91	88	non	89	86	non	63	60	non
cas 13	74	71	non	96	94	non	93	91	non	61	59	non
cas 14	73	70	non	93	91	non	91	89	non	60	58	non
cas 15	72	69	non	92	90	non	90	87	non	60	58	non
cas 16	70	67	non	91	89	non	89	86	non	61	56	non

5.3 Résultats pour les planchers CLT

5.3.1 Localisation des relevés H% et HR sur le modèle WUFI

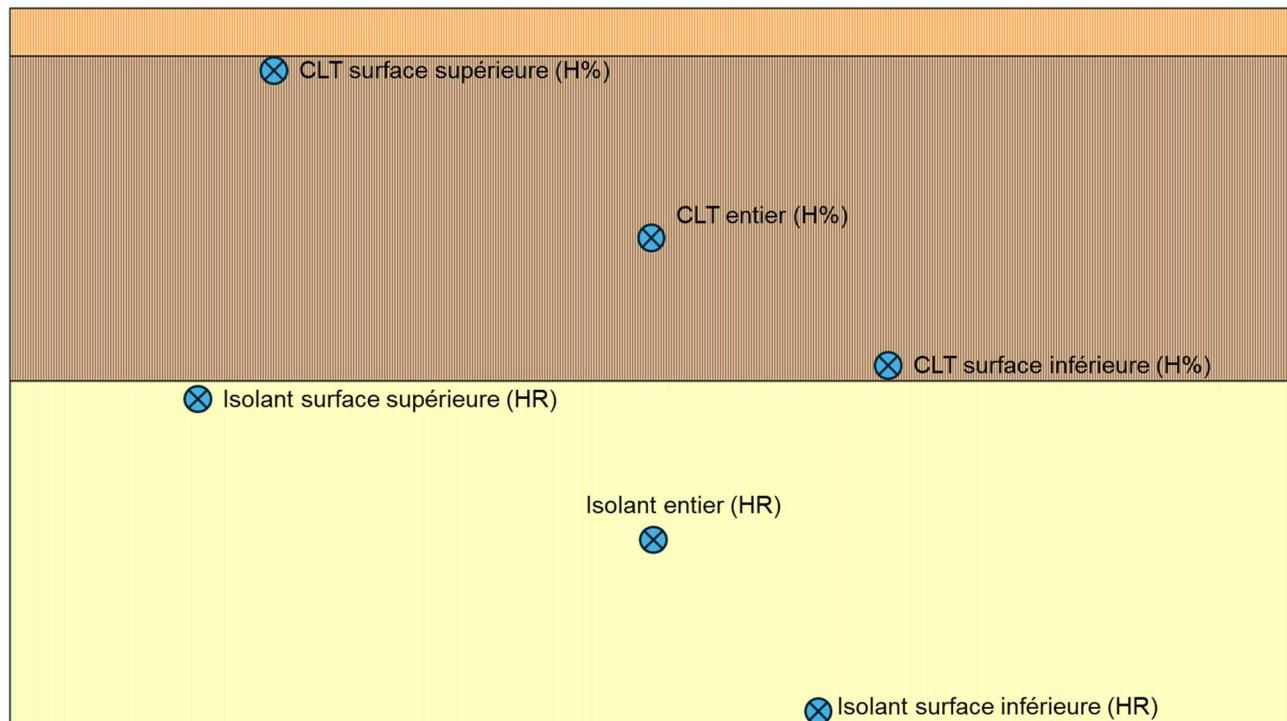


Figure 12 : Localisation des relevés massiques dans le bois ou les éléments à base de bois (H%) et des relevés d'humidité relative dans l'isolant (HR) – plancher CLT

Ont été relevés pour chaque cas modélisé :

- la tendance sur le modèle entier, permettant de visualiser la capacité de la paroi à s'assécher d'une année sur l'autre
- pour chaque point listé sur la figure 12 ci-dessus :
 - l'humidité H% ou HR la 1^{ère} année de la modélisation
 - l'humidité H% ou HR la 5^{ème} année de la modélisation

Figure également dans le tableau de résultat ci-dessous un 1^{er} niveau d'interprétation, à savoir le respect ou non des critères de salubrités fixés par le Guide SimHuBat.

5.3.2 Résultats

	tendance modèle entier	CLT entier			CLT surface inférieure			CLT surface supérieure			isolant entier			isolant surface inférieure			isolant surface supérieure		
		H% max 1ère année	H% max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat	H% max 1ère année	H% max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat	H% max 1ère année	H% max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat	HR max 1ère année	HR max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat	HR max 1ère année	HR max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat	HR max 1ère année	HR max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat
cas 17	baisse	15,5	15	non	20,7	20,7	non	15,1	14,3	non	70	66	non	79	75	non	64	60	non
cas 18	augmentation	16,3	16,5	oui	24,1	24,3	oui	15,4	15,5	oui	68	68	non	80	81	oui	61	61	non
cas 19	baisse	13,2	11,5	non	13,3	13,0	non	13,1	11,7	non	84	84	non	99	99	non	72	71	non
cas 20	baisse	12,5	10,6	non	12,7	12,4	non	12,1	10,7	non	83	82	non	98	98	non	70	69	non
cas 21	baisse	12,3	10,2	non	11,6	11,3	non	12,1	10,5	non	80	79	non	98	98	non	64	63	non
cas 22	baisse	13,4	11,2	non	13,2	13,0	non	13,6	10,7	non	84	84	non	99	99	non	72	71	non
cas 23	baisse	13,2	11,7	non	13,4	13,2	non	13,2	11,7	non	85	84	non	99	99	non	72	71	non
cas 24	baisse	12,5	10,5	non	12,3	12,0	non	12,1	10,7	non	82	81	non	99	99	non	68	67	non
cas 25	baisse	12,3	10,3	non	11,7	11,4	non	12,1	10,7	non	80	79	non	98	98	non	65	64	non

5.4 Résultats pour les points singuliers

5.4.1 Cas 26

Localisation des relevés H% et HR sur le modèle WUFI

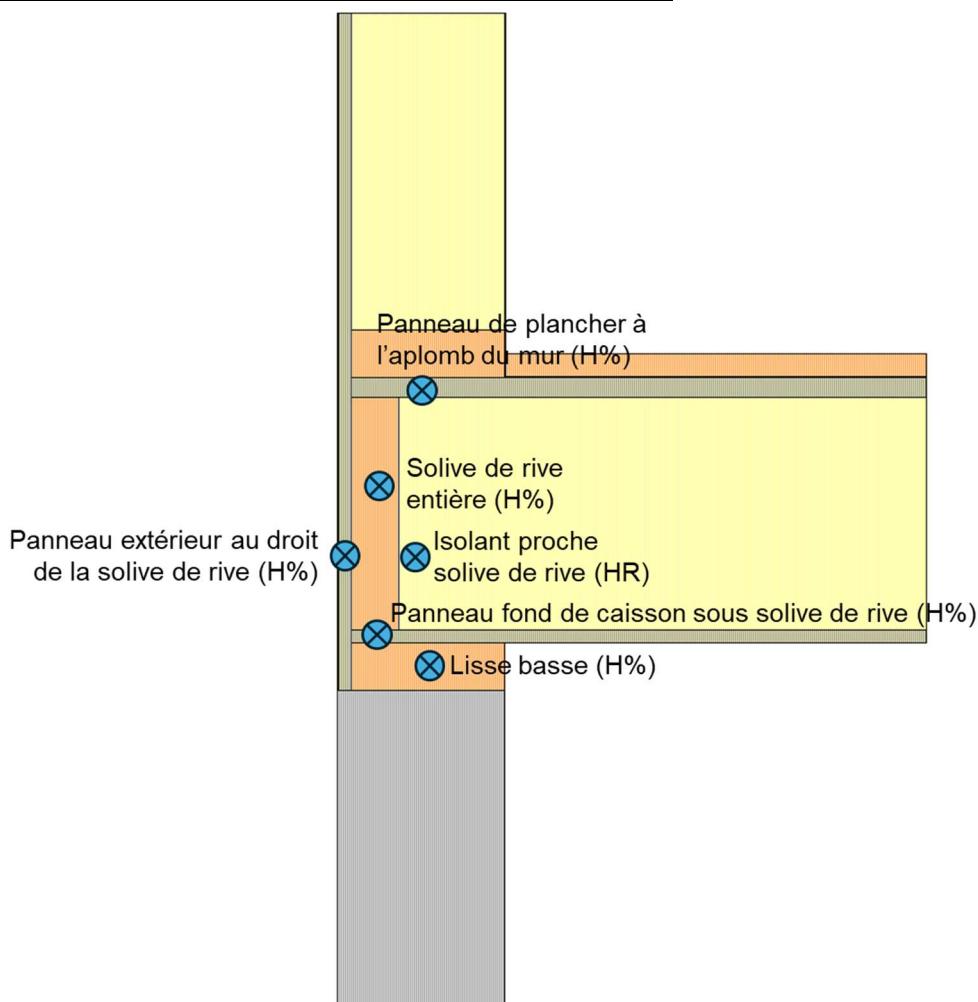


Figure 13 : Localisation des relevés massiques dans le bois ou les éléments à base de bois (H%) et des relevés d'humidité relative dans l'isolant (HR) – périphérie plancher solivé

Résultats

tendance modèle entier	lisso basse			soline de rive (entièrre)			Panneau plancher / aplomb mur		
	H% max 1ère année	H% max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat	H% max 1ère année	H% max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat	H% max 1ère année	H% max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat
stable	21,3	22,1	oui	20,5	19,5	non	13,8	13,4	non
	Panneau fond de caisson sous solive de rive			panneau extérieur solive de rive			isolant proche solive de rive		
	H% max 1ère année	H% max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat	H% max 1ère année	H% max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat	HR max 1ère année	HR max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat
	15,7	16,2	non	15,3	15,1	non	96	95	non

5.4.2 Cas 27

Localisation des relevés H% et HR sur le modèle WUFI

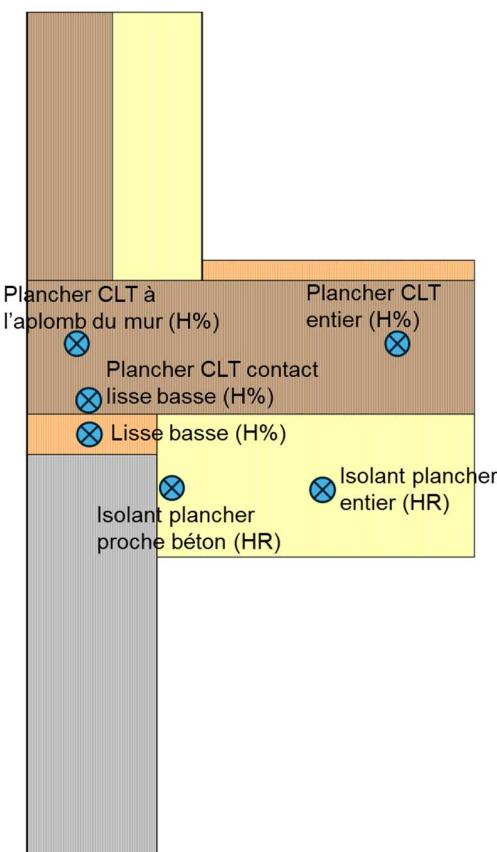


Figure 14 : Localisation des relevés massiques dans le bois ou les éléments à base de bois (H%) et des relevés d'humidité relative dans l'isolant (HR) – périphérie plancher CLT posé sur le soubassement

Résultats

tendance modèle entier	plancher CLT entier			plancher CLT à l'aplomb du mur			lisse basse		
	H% max 1ère année	H% max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat	H% max 1ère année	H% max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat	H% max 1ère année	H% max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat
stable	13,9	12,8	non	15,7	15,2	non	19,6	22,7	oui
	plancher CLT contact lisse basse			isolant plancher entier			isolant plancher proche béton		
	H% max 1ère année	H% max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat	HR max 1ère année	HR max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat	HR max 1ère année	HR max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat
	15,8	15,9	non	87	87	non	97	97	non

5.4.3 Cas 28

En l'absence de résultats concluant en partie courante, le cas 28 n'a pas été modélisé.

5.4.4 Cas 29

Localisation des relevés H% et HR sur le modèle WUFI

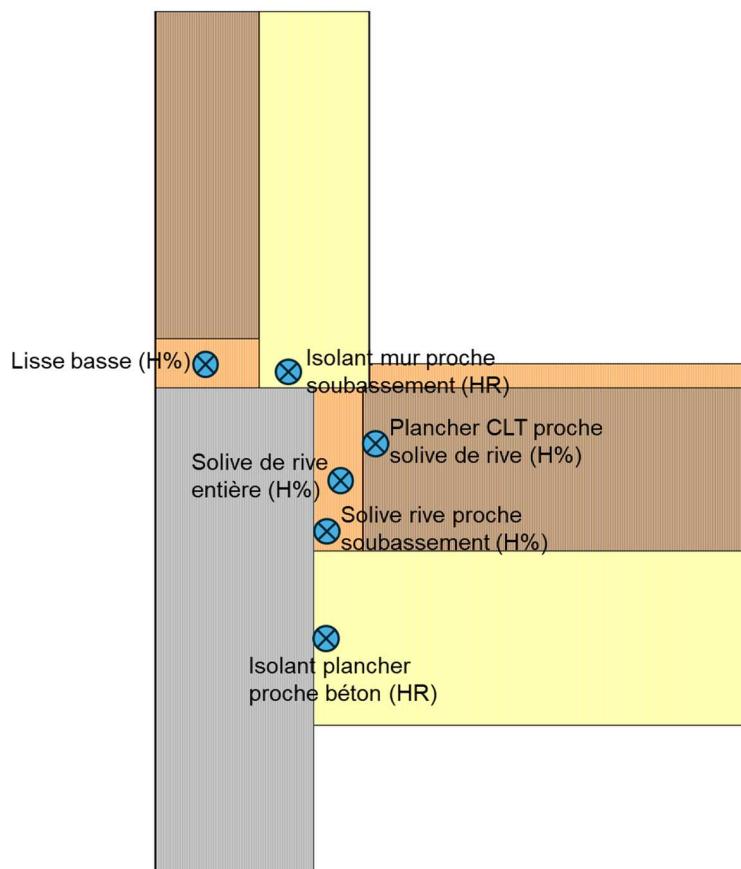


Figure 15 : Localisation des relevés massiques dans le bois ou les éléments à base de bois (H%) et des relevés d'humidité relative dans l'isolant (HR) – périphérie plancher CLT côté intérieur du soubassement

Résultats

tendance modèle entier	soline de rive (entièrre)			plancher CLT proche solive de rive			soline de rive proche soubassement		
	H% max 1ère année	H% max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat	H% max 1ère année	H% max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat	H% max 1ère année	H% max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat
stable	18,7	19,6	non	15,6	14,9	non	20,8	23,6	oui
	lisse basse			Isolant du vide sanitaire proche soubassement			isolant du mur proche soubassement		
	H% max 1ère année	H% max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat	HR max 1ère année	HR max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat	HR max 1ère année	HR max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat
	18,2	19,3	non	97	97	non	82	84	non

5.4.5 Cas 30

Localisation des relevés H% et HR sur le modèle WUFI

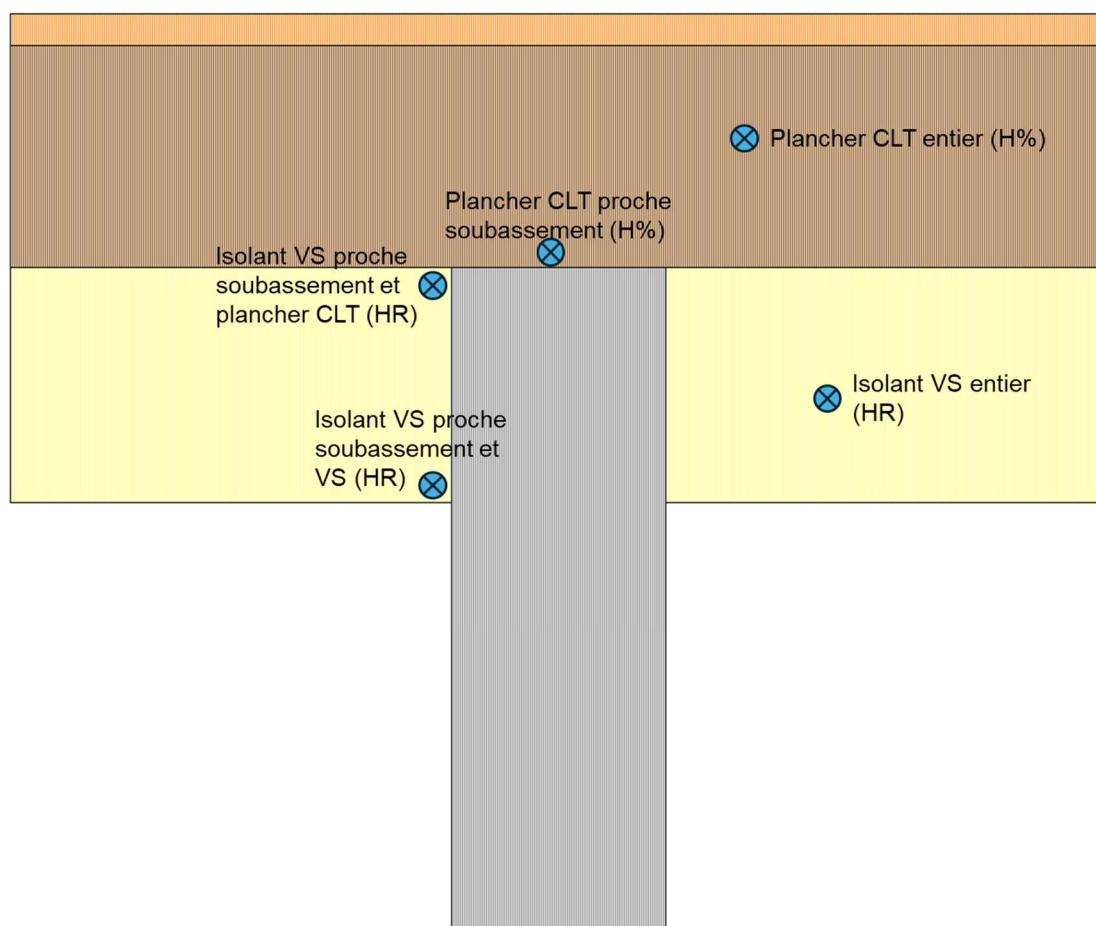


Figure 16 : Localisation des relevés massiques dans le bois ou les éléments à base de bois (H%) et des relevés d'humidité relative dans l'isolant (HR) – Plancher posé sur refend de soubassement

Résultats

tendance modèle entier	plancher CLT (entier)			plancher CLT proche soubassement			Isolant du vide sanitaire (entier)		
	H% max 1ère année	H% max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat	H% max 1ère année	H% max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat	HR max 1ère année	HR max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat
baisse	13,7	12,4	non	16,7	16,3	non	86	86	non
	isolant du vide sanitaire proche soubassement et vide sanitaire			isolant du vide sanitaire proche soubassement et CLT					
	HR max 1ère année	HR max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat	HR max 1ère année	HR max 5ème année	Dépassement critères SimHuBat			
	95	95	non	85	85	non			

6 Interprétation des résultats des modélisations

6.1 Cas des planchers avec solivage

6.1.1 Incidence du type de solives (comparaison cas 1 et cas 2)

Les niveaux d'humidité constatés dans les éléments du modèle sont légèrement inférieurs dans le cas de la poutre en I, du fait de la limitation du pont thermique et du positionnement du panneau de fond de caisson. C'est pour cela que pour la suite des modélisations, des solives à section rectangulaire ont été utilisées, de manière sécuritaire.

Mais **quelle que soit la nature du solivage** (bois massif de section rectangulaire ou poutre en I) les niveaux d'humidité constatés sont conformes aux exigences du guide SimHuBat et correspondent bien à une situation de classe d'emploi 2.

6.1.2 Incidence du climat (comparaison cas 2, cas 3 et cas 4)

Le climat dans le vide sanitaire est plus humide dans le cas de Brest (cas 3), de fait, l'humidité constatée dans ce cas dans les éléments en bois ou à base de bois est (légèrement) plus élevée, tout en restant dans des niveaux compatibles avec la classe d'emploi 2 et conformes aux exigences du guide SimHuBat.

C'est au regard de ce résultat que les autres modélisations ont été réalisées pour le climat de Brest.

6.1.3 Incidence de la nature de la sous-face du plancher (comparaison cas 3 et cas 5)

Dans ce cas, le panneau de fond de caisson a été remplacé par une membrane perméable à la vapeur d'eau ($S_d = 0,18 \text{ m}$). Dans ce cas, l'humidification de la partie basse de la solive est plus élevée, les conditions de la classe d'emploi 2 ne sont pas respectées (l'humidité dépasse 20% sur une durée supérieure à 8 semaines par an).

La solive étant « noyée » dans l'isolant, ce qui augmente l'humidité du bois, et non « protégée » par l'effet barrière à la diffusion de vapeur d'eau du panneau de fond de caisson comme dans le cas 3, cette prescription n'est pas à retenir, et **la mise en œuvre d'un panneau en fond de caisson est nécessaire.**

6.1.4 Incidence de l'épaisseur de l'isolant (comparaison cas 3 et cas 6)

Les niveaux d'humidité sont légèrement inférieurs dans le cas de la plus forte épaisseur d'isolant.

Quelle que soit l'épaisseur d'isolant, les niveaux d'humidité constatés sont conformes aux exigences du guide SimHuBat et correspondent bien à une situation de classe d'emploi 2.

Dès lors que la résistance thermique de l'isolant du plancher est supérieure à $5 \text{ m}^2.\text{K/W}$, la salubrité des éléments composants le plancher peut être assurée.

6.1.5 Incidence de la nature de l'isolant

Au regard des résultats pour l'isolant en laine minérale, avec des niveaux d'humidité relative nettement supérieurs à 85%, l'étude n'a pas été élargie aux isolants en fibres végétales et notamment la fibre de bois.

Les conditions d'humidité dans les planchers sur vide sanitaire ne permettent pas de mettre en œuvre des isolants à base de fibres de bois.

6.1.6 Incidence de la résistance à la diffusion de vapeur d'eau du revêtement de sol (comparaison cas 3 et cas 7)

La présence au-dessus du plancher d'un revêtement de sol « étanche » (selon la définition du DTU 51.3) du type sol souple PVC avec $S_d = 150$ m, ne modifie pas le comportement hygrothermique de la paroi, par rapport à un revêtement de sol « non étanche » (de type parquet).

L'humidification principale provenant du vide sanitaire lui-même, un effet « pare-vapeur » important au-dessus du plancher n'a pas d'influence.

Les conditions de salubrité sont vérifiées quelle que soit la nature du revêtement de sol.

6.1.7 Incidence de la présence ou l'absence d'une membrane pare-vapeur au-dessus du plancher, dans le cas de revêtement de sol perméable à la vapeur d'eau (comparaison cas 3 et cas 8)

Dans le cas de l'absence totale de barrière à la diffusion de vapeur d'eau au-dessus du plancher, les conditions d'humidité en partie inférieure du solivage dépassent les limites de la classe d'emploi 2.

La mise en œuvre d'une barrière à la diffusion de vapeur d'eau dont la valeur S_d est supérieure ou égale à 18 m au-dessus du plancher est donc nécessaire.

Cette barrière à la diffusion de vapeur d'eau peut être une membrane pare-vapeur souple ou un élément du complexe de revêtement de sol, s'il est continu et étanche à l'air en partie courante et au niveau des points singuliers.

6.1.8 Incidence du niveau de ventilation du vide sanitaire, en lien avec le climat (comparaison des cas 2, 3, 4 et des cas 9 à 13)

La configuration avec ventilation au 1/500^{ème} de la surface du plancher seulement n'est jamais pérenne. Les conditions d'humidité dans les solives, dans le panneau de fond de caisson et dans l'isolant ne sont pas satisfaisantes.

Les configurations avec une ventilation du vide sanitaire supérieure ou égale à 1/150^{ème} de la surface du plancher sont satisfaisantes dans tous les cas.

Pour le dernier cas de ventilation prescrit par le DTU 51.3 actuel (1/250^{ème} de la surface du plancher), les conditions d'humidité sont dépendantes du climat. Le risque de condensation peut être écarté quel que soit le climat, mais les niveaux d'humidité dans la partie inférieure du solivage pour le climat de montagne dépassent la limite de la classe d'emploi 2 (l'humidité dépasse 20% sur une durée supérieure à 8 semaines par an).

La prescription « ventilation au 1/250^{ème} de la surface du plancher » doit donc être limitée aux climats de plaine.

En lien avec l'analyse des chapitres 6.19 et 6.1.10 ci-dessous, **en cas de présence d'un isolant en périphérie du vide sanitaire ou d'une imperméabilisation du vide sanitaire** (membrane anti-termite par exemple), **quel que soit le climat, la ventilation du vide sanitaire doit obligatoirement être au moins de 1/150^{ème} de la surface du plancher.**

6.1.9 Incidence de la présence d'une isolation en périphérie du soubassement (comparaison cas 2 et cas 14)

La présence de l'isolant périphérique, tous les autres paramètres étant identiques par ailleurs, entraîne une augmentation de l'humidité dans les composants de la paroi proche du vide sanitaire. L'humidité absolue reste globalement inchangée entre les deux configurations. Cependant, la température modifiée par l'isolation influence la pression de vapeur saturante, et donc l'humidité relative, qui peut être sensiblement affectée même sans variation de l'humidité absolue.

L'isolation de la périphérie du vide sanitaire lorsque celui-ci est ventilé sur l'extérieur n'est donc pas recommandée, bien que sa présence ne cause pas de problème de salubrité, mais le plancher perd en « robustesse » en cas d'aléas lors de la vie en œuvre du bâtiment.

Remarque : comme indiqué au chapitre 2.6, l'isolation périphérique des vides sanitaires serait nécessaire pour un vide sanitaire dont l'ambiance est régulée.

6.1.10 Incidence de l'imperméabilisation du sol du vide sanitaire (comparaison cas 2 et cas 15)

Comme indiqué au chapitre 4.5, l'imperméabilisation entraîne une augmentation de l'humidité relative dans le vide sanitaire, ce qui en termes de résultats des modélisations se traduit par une augmentation de l'humidité à l'échelle de la paroi, la vapeur d'eau n'étant plus évacuée par le sol.

La présence d'une membrane ne cause pas de problème de salubrité, mais le plancher perd en « robustesse » en cas d'aléas lors de la vie en œuvre du bâtiment. **En cas de nécessité de mettre en œuvre une membrane imperméable à la vapeur d'eau sur le sol du vide sanitaire, celui-ci devra être ventilé au 1/150^{ème} de la surface du plancher.**

6.1.11 Incidence de la présence d'une isolation en périphérie du soubassement avec imperméabilisation du sol du vide sanitaire (comparaison cas 2 et cas 16)

L'effet des deux éléments rapportés (isolant périphérique + membrane d'imperméabilisation) n'est pas cumulatif, une augmentation de l'humidité est constatée, mais à des niveaux équivalents à ceux de l'isolation périphérique seule.

6.2 Cas des planchers CLT

6.2.1 Incidence de la position de l'isolant par rapport au CLT (comparaison cas 17, cas 18 et cas 19)

Lorsque l'isolant est situé au-dessus du plancher CLT, on atteint les limites de la classe d'emploi 2 en climat de Nancy (cas 17). En revanche, pour le climat de Brest (cas 18), l'humidité globale dans la paroi augmente d'une année sur l'autre et les niveaux d'humidité dans le CLT dépassent nettement les 20%. Le CLT au contact du climat du vide sanitaire stocke l'humidité présente dans le vide sanitaire et ne sèche pas suffisamment en période estivale pour retrouver de niveaux d'humidité équivalents à l'année n-1.

En revanche, lorsque l'isolant est situé en sous-face du plancher CLT, même dans le cas de Brest (cas 19), l'humidité se situe à des niveaux compatibles avec la classe d'emploi 2 et conformes aux exigences du guide SimHuBat.

Pour des solutions génériques utilisables dans toutes les zones climatiques métropolitaines, les planchers bas en CLT sur vide sanitaire doivent donc être isolés par le dessous.

6.2.2 Incidence du climat (comparaison cas 19, cas 20 et cas 21)

Lorsque le plancher CLT est isolé par le dessous, quelle que soit la zone climatique, l'humidité se situe à des niveaux compatibles avec la classe d'emploi 2 et conformes aux exigences du guide SimHuBat.

L'ensemble de ces modélisations a été réalisée sans membrane pare-vapeur, et avec un revêtement de sol non étanche au sens du DTU 51.3 (parquet chêne). Si le plancher CLT est rendu continu et étanche à l'air, son effet tampon hygroscopique est suffisant pour ne pas avoir à mettre en œuvre de membrane pare-vapeur.

6.2.3 Incidence de la résistance à la diffusion de vapeur d'eau du revêtement de sol (comparaison cas 19 et cas 22)

La présence au-dessus du plancher d'un revêtement de sol « étanche » (selon la définition du DTU 51.3) du type sol souple PVC avec $S_d = 150$ m, ne modifie pas le comportement hygrothermique de la paroi, par rapport à un revêtement de sol « non étanche » (de type parquet).

L'humidification principale provenant du vide sanitaire lui-même, un effet « pare-vapeur » important au-dessus du plancher n'a pas d'influence.

Les conditions de salubrité sont vérifiées quelle que soit la nature du revêtement de sol.

6.2.4 Incidence du niveau de ventilation du vide sanitaire (comparaison du cas 19 et du cas 23)

La réduction du débit de ventilation à 1/250ème de la surface du plancher n'a pas d'incidence sur l'humidité des composants de la paroi, l'isolant continu en sous-face du CLT fait office de tampon hygroscopique vis-à-vis de l'humidité dans le vide sanitaire.

Dans le cas des planchers en CLT isolés par le dessous, le niveau de ventilation pourrait donc être ramené à 1/250^{ème} de la surface du plancher.

Remarque : au regard des résultats négatifs constatés pour les planchers avec solivage, le cas de la ventilation au 1/500^{ème} n'a pas été modélisé pour les planchers CLT.

6.2.5 Incidence de la présence d'une isolation en périphérie du soubassement et de l'imperméabilisation du sol du vide sanitaire (comparaison cas 20, cas 24 et cas 25)

Comme indiqué au chapitre précédent, la modification du climat dans le vide sanitaire, du fait de la présence de l'isolant en sous-face, ne modifie pas de manière significative l'humidité dans le plancher CLT.

Les règles de conception ne changent pas pour les planchers CLT isolés par le dessous en présence d'un isolant périphérique ou de l'imperméabilisation du sol du vide sanitaire.

6.3 Cas des points singuliers

L'objectif de ces modélisations est de vérifier pour le cas de points singuliers s'il n'y a pas d'aggravation des conditions de salubrité par rapport aux parois modélisées en partie courante.

6.3.1 Planchers solivés (comparaison avec cas 3)

Pour le point singulier « Plancher posé sur le soubassement en périphérie du vide sanitaire » (cas 26), les niveaux d'humidité relevés au niveau des différentes zones à risque de cette jonction mur / plancher ne montrent pas un niveau de risque plus élevé qu'en partie courante.

Remarque : La modélisation montre en revanche un niveau d'humidité élevé dans la lisse basse, positionnée entre le soubassement en béton et le plancher. Cela est dû, lors de la modélisation, à l'absence de bande d'arase (barrière anti-capillarité) sous la lisse. L'interposition, conformément au NF DTU 31.2, d'une barrière d'étanchéité vis-à-vis des remontées capillaires permet d'éviter cette humidification.

Lorsque le plancher est posé côté intérieur au soubassement les prescriptions développées au chapitre 6.3.2 ci-dessous pour le CLT s'appliquent.

6.3.2 Planchers CLT isolés par le dessous (comparaison avec cas 19)

Au regard des résultats en partie courante, seuls les points singuliers pour les planchers CLT isolés par le dessous ont été modélisés.

Lorsque le plancher est posé sur le soubassement en périphérie du vide sanitaire (cas 27) les niveaux d'humidité relevés au niveau des différentes zones à risque de cette jonction mur / plancher ne montrent pas un niveau de risque plus élevé qu'en partie courante.

Lors que le plancher est posé côté intérieur du soubassement (cas 29), comme dans le cas de ventilation périphérique par cours anglaises, le niveau d'humidité de la solive de rive au contact direct du soubassement en béton (modélisation réalisée sans jeu ou sans coupure de capillarité verticale sur la face de solive de rive) présente une humidification présentant un risque non négligeable de développement fongique.

Pour éviter cette humidification, l'une des exigences suivantes doit être satisfaite :

- Mise en œuvre d'une bande d'arase verticale entre la solive de rive et le soubassement en béton**
- Repos du CLT non pas sur une solive de rive en bois mais sur une cornière métallique ou des équerres métalliques**

Dans le cas d'un plancher posé sur refend de soubassement, malgré l'interruption de l'isolant, les niveaux d'humidité n'augmentent pas de manière significative dans le CLT.

7 Définition de prescriptions de conception et de mise en œuvre

7.1 Préambule

Les prescriptions de conception et de mise en œuvre contenues dans ce chapitre 7 pourront être présentées en commission de normalisation (BF057 – DTU 51.3, BF070 – DTU 31.2, BNTEC P21C – DTU 31.1) dans le cas des planchers solivés ou autre enceintes décisionnaires (GS3.3, Groupes de travail prDTU...) dans le cas des planchers CLT.

Ces prescriptions ne concernent que les aspects hygrothermiques et salubrité. Les propriétés des matériaux (autres que celles en lien avec la durabilité ou ayant une incidence sur le comportement hygrothermique de la paroi) et les autres exigences propres aux planchers bois (dimensionnement statique ou dynamique, assemblages des composants, performance acoustique, ...) ne sont pas abordées ici, ni les exigences concernant le soubassement support du plancher.

7.2 Règles générales

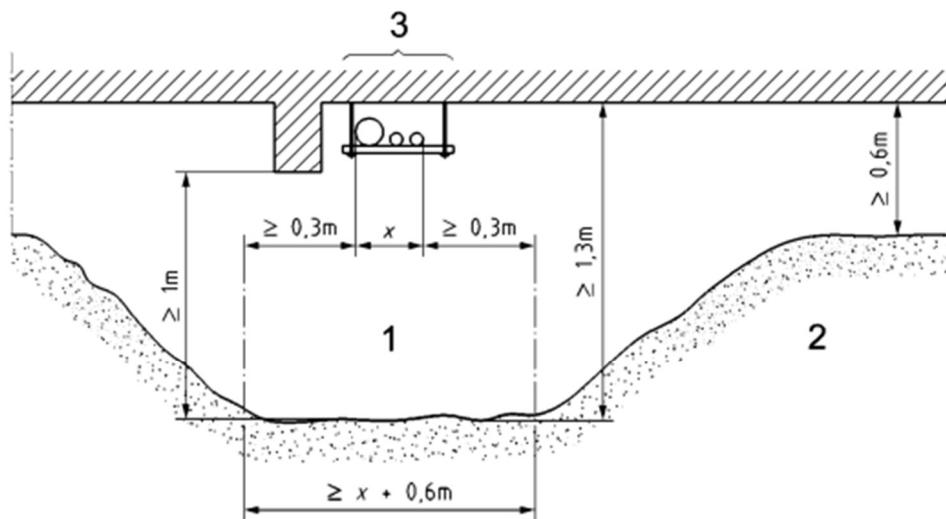
Ces règles de conception sont valables quelle que soit la nature du plancher (avec solivage ou en CLT).

Les prescriptions suivantes s'appliquent :

- Les planchers bas sur vide sanitaire respectant l'ensemble des prescriptions contenus dans le présent chapitre 7 peuvent être mis en œuvre dans des locaux à faible ou moyenne hygrométrie, y compris abritant des salles de bains privatives, dans toutes les zones climatiques françaises métropolitaines.
- Les planchers doivent être dimensionnés en classe de service 2
- La distance entre les éléments du plancher et le sol fini extérieur doit être supérieure ou égale à 20cm (cette distance peut être prise au fond d'un caniveau périphérique)
- A l'intérieur du vide sanitaire la hauteur minimale sous les éléments en bois doit être de 30 cm par rapport au sol intérieur du vide sanitaire

NOTE : Cette hauteur de 30 cm est la hauteur minimale pour permettre la ventilation. Si le vide sanitaire doit être rendu accessible, les prescriptions suivantes (définies dans le NF DTU 60.1 P1-1-1) sont à considérer :

- ❖ accès de surface minimum 0,60 m², la plus petite dimension étant au moins égale à 0,60 m ;
- ❖ **en maison individuelle**, hauteur libre de 0,60 m minimum
- ❖ **en habitat collectif et autre bâtiment (tertiaire, hôpitaux...)**, la hauteur libre générale est de 0,60 m minimum. Elle est de 1,30 m au droit des canalisations et sur une certaine largeur de part et d'autre (tranché technique) selon la figure ci-dessous. Cette hauteur libre peut être ramenée à 1,00 m sous des saillies linéaires du gros œuvre ne supportant pas, par en dessous, des canalisations. La hauteur libre minimale de 1,30 m doit régner à partir de l'accès du vide sanitaire sur un parcours permettant l'accès à toutes les canalisations.



Légende

- 1 tranchée technique
- 2 talus non éboulable
- 3 canalisations

Figure 17 : Définition de la hauteur du vide sanitaire

- Les isolants intégrés aux planchers bas sur vide sanitaire :
 - doivent avoir une résistance thermique minimale de 5 m².K/W.
 - doivent être en laine minérale ou être compatibles avec la condition 1 de la norme NF EN 17886 (anciennement HR 95) pour leur sensibilité au développement des moisissures
- Pour permettre une ventilation naturelle du vide sanitaire, les ouvertures de ventilation sont positionnées de telle façon qu'il ne subsiste aucune zone d'air stagnant et :
 - sont situées à au moins 40 cm des angles de murs
 - sont au plus espacées de 5 m
 - la largeur des orifices est au moins égale au double de leur hauteur
 - la section minimale de ces orifices doit être au moins de 20 cm x 10 cm (LxH)
 - les ouvertures sur des murs opposés doivent se correspondre y compris sur les refends intermédiaires
 - les surfaces minimales de ventilation sont définies aux chapitres 7.3 et 7.4 ci-dessous
 - l'ouverture nette des grilles de ventilation doit être prise en compte
- Dans les cas où le vide sanitaire ne peut pas être ventilé naturellement, une ventilation mécanique dédiée, avec un extracteur d'air installé dans le vide sanitaire permettant de renouveler le volume d'air du vide sanitaire avec un débit de 0,5 vol/h peut être mis en place. Les entrées principales d'air dans le vide sanitaire doivent être positionnées côté vent dominant. La hauteur dans le vide sanitaire doit alors être au moins de 80 cm.

Remarque : la mise en œuvre d'une VMC dans le vide sanitaire permet de limiter le nombre et la surface des ouvertures, mais la contrainte de ventiler de manière homogène demeure.

- Une bande d'arase doit être systématiquement mise en œuvre à l'interface entre le bois et le soubassement en béton :
 - Posée à l'horizontale sous les lisses basses ou les autres éléments de plancher (figure 17 a, b, c, d)
 - Posée à la verticale entre les solives de rive et le soubassement dans le cas de planchers ventilés par cours anglaises posés côté intérieur au soubassement (figure 17 d).

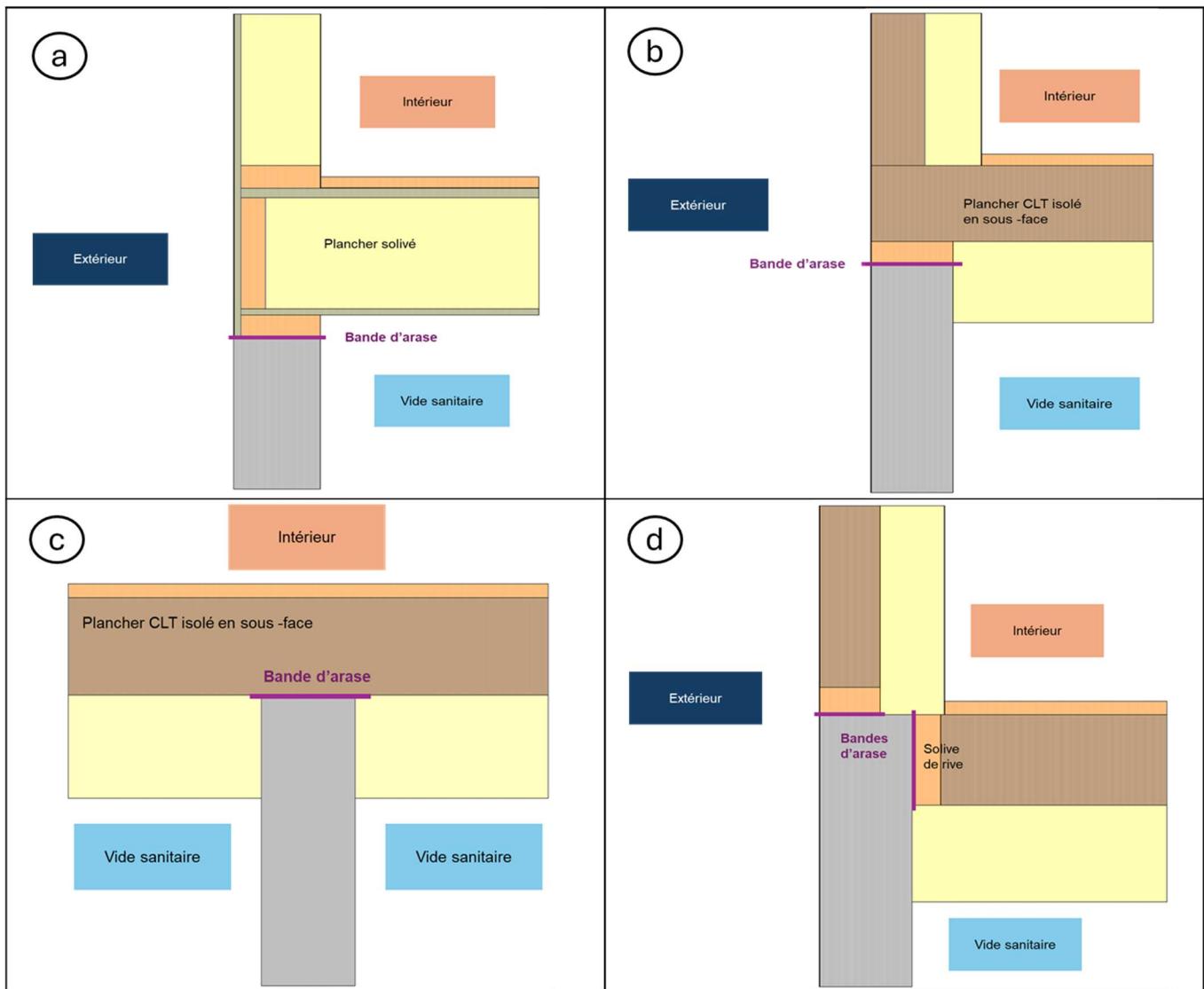


Figure 18 : Exemples de positionnement de la bande d'arase sous les planchers (a) avec solivage posés sur le soubassement, (b) CLT isolés par le dessous posé sur le soubassement (c) CLT isolé par le dessous posé sur refend de soubassement (d) posé côté intérieur du soubassement (cas de ventilation périphérique par cours anglaises)

- Les éléments en bois ou à base de bois constituant le plancher se trouvent en situation de classe d'emploi 2 selon NF EN 335. Les éléments en bois ou à base de bois au contact avec les ouvrages de soubassement se situent :
 - en classe d'emploi 3.2 lorsque la bande d'arase est perforée par des fixations ; ou
 - en classe d'emploi 2 en cas de fixation non traversante, ou si le plancher bois est connecté au soubassement par des éléments métalliques (boitiers, cornières, platines, équerres...) avec un jeu d'au moins 10 mm entre les éléments en bois et le béton).
- Tous les revêtements de sol tels que définis dans l'annexe B du DTU 51.3 P1-1 peuvent être utilisés

7.3 Spécificités pour les planchers avec solivage

Les prescriptions suivantes s'appliquent, pour les planchers avec solivage :

- Les solives des planchers bas sur vide sanitaire peuvent être de section rectangulaire ou en île.
- Le fond de caisson (supportant l'isolant du plancher solivé) doit être réalisé en panneau à base de bois. Ces panneaux sont conformes au CGM du NF DTU 31.2 pour leurs caractéristiques physiques et leur épaisseur minimale et ont une épaisseur maximale de 15 mm.
- Une barrière à la diffusion de vapeur d'eau dont la valeur S_d est supérieure ou égale à 18 m doit être mise en œuvre au-dessus du plancher. Cette barrière à la diffusion de vapeur d'eau peut-être une membrane pare-vapeur souple ou un élément du complexe de revêtement de sol, s'il est continu et étanche à l'air en partie courante et au niveau des points singuliers.
- La surface totale des orifices de ventilation doit être :
 - Soit supérieure ou égale à 1/150^{ème} de la surface du plancher
 - Soit supérieure ou égale à 1/250^{ème} de la surface de plancher si et seulement si :
 - La construction se situe en climat de plaine (altitude inférieure à 900 m), et
 - Le vide sanitaire ne comporte pas d'isolation périphérique, et
 - Le sol du vide sanitaire est nu (pas de membrane d'imperméabilisation sur le sol, barrière anti-termite par exemple)

Remarque : Cette possibilité de limiter la ventilation au 1/250^{ème}, qui fonctionne d'un point de vue hygrothermique, ne prend pas en compte l'usage et les transformations ultérieures éventuelles du bâtiment (ajout d'une isolation extérieure autour du soubassement par exemple). Bien que théoriquement faisable, cette prescription ne semble pas être à recommander comme prescription générique.

7.4 Spécificités pour les planchers CLT

Les prescriptions suivantes s'appliquent, pour les planchers en CLT :

- Pour des solutions génériques utilisables dans toutes les zones climatiques métropolitaines, les planchers bas en CLT sur vide sanitaire doivent être isolés par le dessous

Remarque : la réalisation de modélisations hygrothermiques, chantier par chantier, permettant de démontrer la faisabilité en termes de salubrité de l'isolation au-dessus du CLT est possible

- Si le plancher CLT isolé par le dessous est rendu continu et étanche à l'air, la mise en œuvre d'une membrane pare-vapeur sous le revêtement de sol n'est pas nécessaire
- La surface totale des orifices de ventilation du plancher CLT isolé par le dessous doit être supérieure ou égale à 1/250^{ème} de la surface de plancher
- Les isolants positionnés en sous-face des panneaux CLT ne doivent pas obstruer les réservations ménagées dans le soubassement pour permettre la ventilation du vide sanitaire

8 Conclusion générale

L'analyse des Règles de l'Art existantes au regard des travaux menés lors de la présente étude montre que certaines prescriptions actuelles ne sont pas suffisamment fiables et peuvent générer dans certaines situations des problèmes de salubrité pour les planchers à solivage bois sur vide sanitaire.

Dans le cas des planchers bas en CLT, ou pour justifier ces planchers par simulation numérique les prescriptions sont absentes.

La présente étude a permis de répondre aux objectifs fixés à savoir :

- Fiabiliser les prescriptions de conception et de mise en œuvre pour les planchers bas sur vide sanitaire avec solivage
- Définir des prescriptions de conception et de mise en œuvre pour les planchers bas sur vide sanitaire en CLT
- Mettre à disposition des acteurs souhaitant réaliser des modélisations numériques des fichiers « climats » représentatifs de conditions hygrothermiques des vides sanitaires dans tous les climats français métropolitains

Ventilation et salubrité des planchers bas en bois sur vide sanitaire

Outil technologique reconnu

FCBA et ses équipes d'experts accompagnent les entreprises des filières forêt-bois et ameublement dans l'amélioration de leur compétitivité sur leur marché

L'Institut met à disposition de ces entreprises le savoir-faire de ses ingénieurs et techniciens et la technologie de ses laboratoires, accompagne les professionnels dans la normalisation, l'amélioration de la qualité de leurs produits et les aide à intégrer les innovations technologiques. FCBA diffuse également de l'information scientifique et technique, fruit de son expertise en recherche et développement et veille technologique, économique et documentaire.

Aide à la conception et à l'innovation

Concevoir et construire avec le bois, respecter les normes et la réglementation. Pour l'ameublement, concevoir par l'usage et proposer des matériaux innovants avec le centre de ressources INNOVATHEQUE.

R & D

Être le porteur de l'innovation technologique pour permettre le développement des entreprises.

Centre de formation

Développer votre savoir-faire et vos compétences avec nos formations catalogue ou sur-mesure.

Bureau de normalisation

Animer et coordonner les travaux de normalisation du bois et des produits dérivés du bois et de l'ameublement.

Organisme certificateur

Marquage CE/RPC, CTB, NF, OFG, PEFC, FSC...

Laboratoires à la pointe

Chimie, physique, mécanique, biologie, finition, feu, biosourcés, matériaux...



INSTITUT
TECHNOLOGIQUE

Pour nous joindre

SIÈGE SOCIAL

10, rue Galilée
77420 Champs-sur-Marne
+33 (0)1 72 84 97 84

BORDEAUX

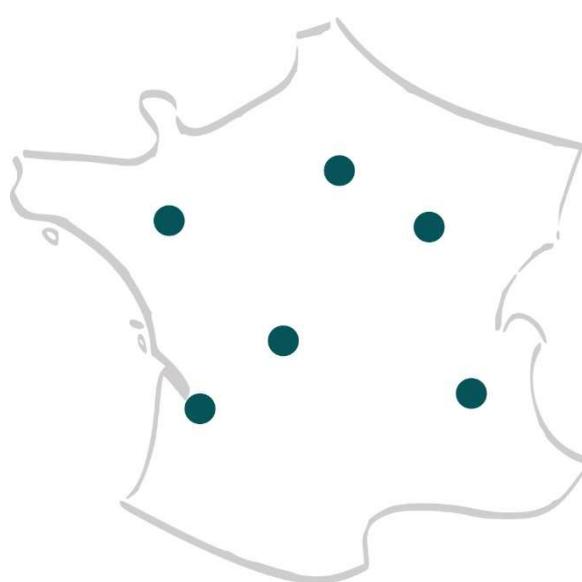
Allée de Boutaut - BP227
33028 Bordeaux Cedex
+33 (0)5 56 43 63 00

GRENOBLE

Domaine Universitaire
CS 90251
38044 Grenoble Cedex 9
+33 (0)4 56 85 25 30

CESTAS-PIERROTIN

71, route d'Arcachon
33610 Cestas
+33 (0)5 56 79 95 00



NANTES

15, boulevard Léon Bureau
44200 Nantes
+33 (0)6 80 34 38 63

CHARREY-SUR-SAÔNE

60, route de Bonnencontre
21170 Charrey-sur-Saône
+33 (0)3 80 36 36 20

VERNEUIL-SUR-VIENNE

Domaine des Vaseix
87430 Verneuil-sur-Vienne
+33 (0)5 55 48 48 10



fcba.fr

