

#02 LA PAILLE

Spécificités techniques, réglementaires
et organisationnelles d'un projet de construction en paille.



Cet ouvrage a été réalisé par le Cluster Eco-construction dans le cadre des projets INTERREG V-A France-Wallonie-Vlaanderen BÂTI-C2 et North-West Europe UP STRAW.

Editeur responsable

Cluster Eco-construction asbl - Hervé-Jacques Poskin
Rue Eugène Thibaut 1c - B-5000 Namur

Rédaction et suivi de coordination

Hugues Delcourt (Cluster Eco-construction)

Remerciements

Nous remercions l'ensemble des partenaires des projets BÂTI-C2 et UP STRAW, ainsi que le réseau professionnel RBfCP pour leur relecture.

Nous remercions également BAS BOUWEN - Wim Huntjens pour les exigences et les détails constructifs relatifs à la PEB, Benoît Michaux (CSTC) pour sa relecture attentive du document, ainsi que les Architectes Gil HONORE et Christophe LOOTVOET pour leur retour d'expérience sur la pratique de la construction paille en marché public et les spécificités belges par rapport aux règles françaises CP2012.

Crédits photos et textes

Photos de couverture : © ecococon, kodu kuubis, Lorenz Märt.

Toute reproduction est interdite sans autorisation préalable.

Malgré tout le soin apporté à la réalisation de ce document, les auteurs ne peuvent être tenus pour responsables des éventuelles erreurs ou omissions.

Direction artistique et production

Ab Initio Graphic design

Dépôt légal

D/2021/13.229/2
Avril 2021

INTRODUCTION

Le secteur européen de la construction est un consommateur important d'énergie et de matières, il représente, à lui seul, près de 50 % de la consommation des ressources naturelles et près de 40 % de la production des déchets sur l'ensemble du territoire européen. Les bâtiments dans l'UE représentent 40 % de la consommation d'énergie et 36 % des émissions de gaz à effet de serre, qui proviennent principalement des activités de construction, de rénovation et de démolition, ainsi que de l'utilisation des bâtiments.

La performance énergétique est un sujet essentiel. Cependant la performance environnementale d'un bâtiment doit répondre à d'autres critères : Impact environnemental des matériaux, qualité de l'air, éclairage naturel, acoustique, résistance au feu, pérennité des matériaux, adaptabilité des bâtiments, ...

De plus, Il est important de prendre en compte maintenant les changements climatiques car les bâtiments que nous construisons aujourd'hui seront utilisés dans des climats qui auront fondamentalement évolué dans les prochaines décennies. Un bâtiment construit selon les normes actuelles est déjà obsolète.

Réponses apportées par la construction en paille :

La construction en paille permet d'atteindre de hauts niveaux de confort, de performances techniques et environnementales. Généralement associée à l'usage du bois et de l'argile, elle utilise des matériaux peu transformés, renouvelables et largement disponibles.

La durabilité de ces solutions a largement fait ses preuves avec des exemples de bâtiments centenaires toujours en usage.

Objectifs du présent cahier technique :

Ce guide est destiné aux professionnels de la construction. Architectes, ingénieurs, constructeurs y trouveront les informations nécessaires pour mener à bien leurs projets de construction en paille.

Ce guide appuie et complète les règles professionnelles françaises de construction en paille CP2012. Elles ont valeur réglementaire en France mais elles sont aussi largement utilisées en Belgique comme guide de référence.

Ce cahier technique vous propose des informations techniques, des outils, des ressources documentaires et des méthodes utilisables sur toutes les phases de vos projets depuis l'esquisse jusqu'à la réception.

Les références réglementaires et normatives concernent cependant spécifiquement la Belgique et la France. Le public belge y trouvera aussi une synthèse des pratiques et usages qui divergent des pratiques françaises ainsi que les équivalences réglementaires et normatives entre les DTU français et les NIT et STS belges.

1. LES SYSTÈMES CONSTRUCTIFS

Trois familles principales de systèmes constructifs utilisant la paille peuvent être identifiées :

Structure / ossature bois + remplissage paille

Ce sont les systèmes les plus répandus et qui font l'objet des règles CP2012 : La paille est considérée uniquement comme isolant et sa contribution à la structure n'est pas prise en compte. Les variantes sont nombreuses comme l'illustre la figure ci-dessous tant sur le choix de l'ossature (poutre traversante en l'ossature bois simple/double, caissons préfabriqués, poteau poutre ...) que des finitions (enduits, panneaux, bardages,...)

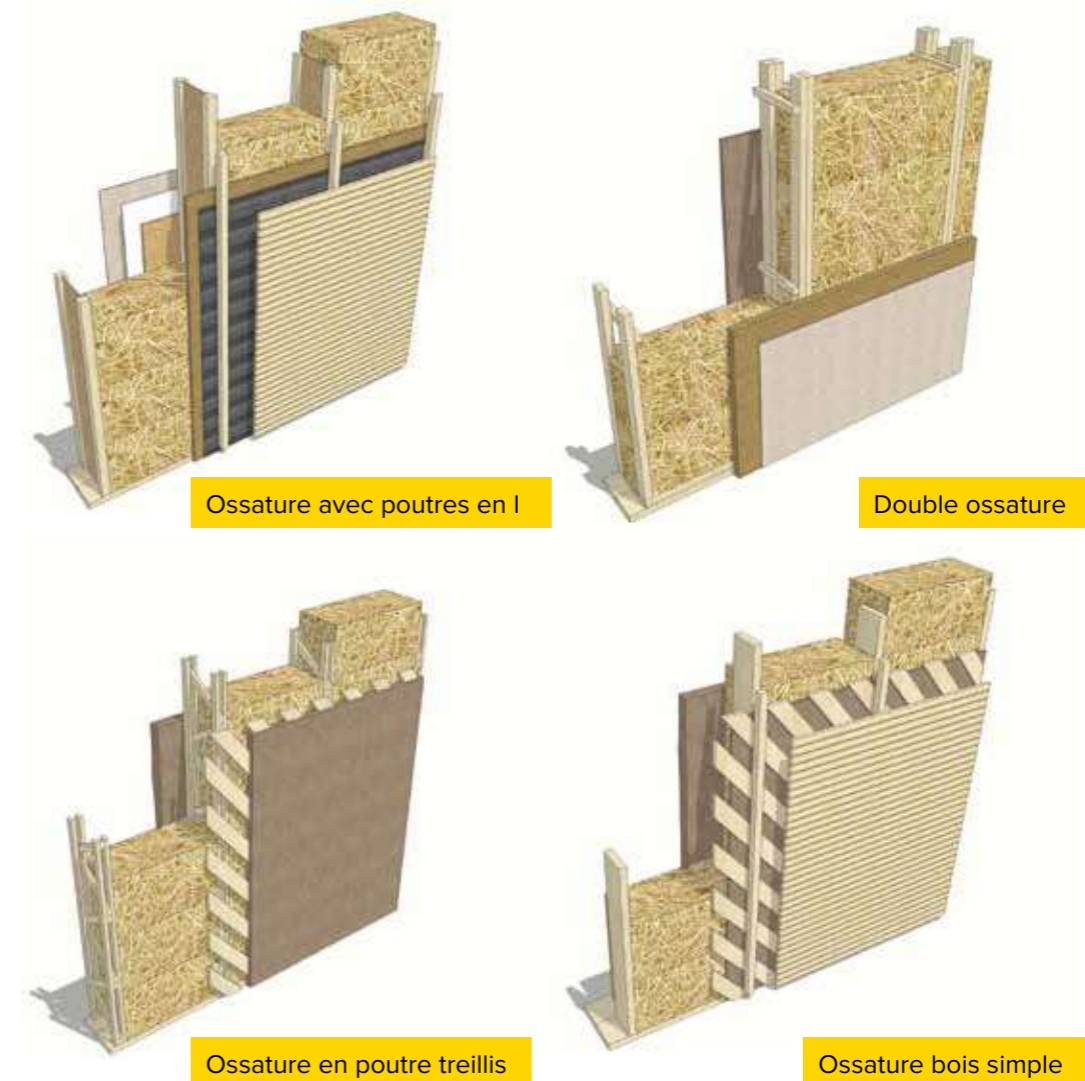


Figure 1: Exemples de Systèmes constructifs utilisant les bottes de paille (Source: © KOVAC architekt)

Isolation en paille rapportée sur une façade porteuse

Cette solution est utilisée aussi bien en construction neuve qu'en rénovation. La fonction structurelle est assurée par le mur existant ou par un mur en CLT, béton ou bloc béton. Une ossature remplie de paille ou des caissons sont ensuite fixés à ce support. Le type de finition est libre tant que l'étanchéité et la migration de vapeur sont bien pris en compte. Ces méthodes rentrent également dans le cadre des règles CP2012.



Figure 2: Collège Alexandre-Mauboussin de Mamers (France - 22). Derrière le bardage se trouvent des caissons bois/paille fermés, préfabriqués et fixés sur une structure en béton armé (Source : Architecte Forma6, © Emilie Gravouille)



Figure 3: Systèmes de caissons remplis de paille fixés sur une façade en CLT pour l'immeuble Jules-Ferry, à Saint-Dié-des-Vosges. Le Toit Vosgien (Source : Architecte ASP – 18 rue St-Exupéry – 88100 SAINT DIE, BE thermique : TERRANERGIE – 1 Rue du Kemberg – 88100 SAULCY/MEURTHE)

La paille porteuse

Il n'y a pas de structures porteuses en bois ou autres matériaux. Cette technique exige que les bottes de paille, ainsi que les enduits qui les recouvrent transfèrent les charges du toit et des éléments horizontaux aux fondations, garantissant ainsi à la fois le soutien structurel et l'isolation thermique, cette technique ne rentre donc pas dans le cadre des règles CP2012 mais ont été développées grâce aux autoconstructeurs particulièrement en France et en Angleterre ou dans les régions où cette technique de construction a été codifiée comme en l'Arizona et le Nouveau Mexique. Actuellement, le système porteur est réglementé aux USA par le Code international de la construction résidentielle.

En Belgique et en France, il n'existe pas de normes reconnues pour utiliser la paille pour des applications structurelles, fonctions porteuses ou fonctions de contreventement.



Figure 4: Centre de loisirs Jacques Chirac à Rosny-sous-Bois (France - 93). Bâtiment R+1 recevant du public en paille porteuse (Source : Mairie de Rosny-sous-Bois, © Juan Sépulveda)

Le projet européen Formawood propose une publication présentant les différents systèmes constructifs en bois, leurs avantages et leurs inconvénients, ainsi que le traitement de certains détails constructifs (Formawood 2014) transposables à la construction en paille.

2. CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE

Le contexte belge

De tradition très libérale, la législation belge se réfère depuis toujours à la responsabilisation des acteurs et ne se révèle généralement contraignante que pour des prestations particulières (protection contre l'incendie, performance énergétique des ouvrages, réglementation COV, ...) (CSTC 2008a).

Les normes sont établies au sein de commissions réunissant tous les acteurs concernés : pouvoirs publics, architectes, fabricants, entrepreneurs, utilisateurs, instituts de recherche, établissements d'enseignement, ... Dans ce contexte, la publication d'une norme reflète les règles de bonne pratique (CSTC 2008b).

L'application d'une norme n'est pas obligatoire, sauf s'il y est fait référence explicitement dans un texte réglementaire (par exemple, une loi ou un arrêté royal), dont elle fait alors partie intégrante, ou qu'elle y est reprise in extenso. Les normes sont également obligatoires si le cahier des charges s'y réfère, comme c'est le cas dans les marchés publics ou dans certains contrats privés. Dans ce cas, le simple fait de stipuler la référence de la norme et, éventuellement, l'année de publication suffit à lui conférer un caractère contraignant. Bien que d'application volontaire, les normes belges sont considérées comme des règles de l'art ou de bonne pratique pour ce qui concerne la responsabilité décennale des concepteurs (architectes et ingénieurs) et des entrepreneurs. Le fait de s'y conformer constitue une présomption de qualité technique, alors que le fait d'y déroger entraîne la nécessité d'une justification technique basée sur l'expérience ou sur d'autres conventions à fixer entre les parties.

Les STS (abréviation de "Spécifications techniques unifiées – Eengemaakte Technische Specificaties") sont des documents qui visent à aider le donneur d'ordre ou le concepteur à rédiger un cahier des charges pour un projet particulier. Les STS décrivent de quelle manière un produit peut être prescrit en fonction d'une application bien précise, comment il peut être contrôlé et mis en œuvre, et comment sa mise en œuvre peut être évaluée. Les STS n'acquiescent bien entendu un caractère obligatoire que si l'auteur de projet et l'entrepreneur y font référence dans les documents contractuels, comme c'est le cas dans la plupart des marchés publics.

Les Notes d'information technique élaborées sous l'égide d'un Comité technique peuvent être considérées comme des guides permettant de prescrire correctement les ouvrages et de les mettre en œuvre dans les règles de l'art. Elles constituent un outil indispensable pour tous les professionnels de la construction (architectes, entrepreneurs, inspecteurs, ...) depuis la conception jusqu'à la réception des travaux, en passant par la mise en œuvre et l'entretien. Elles servent en outre de référence en cas de litiges portant sur des parties de bâtiment soumises à la responsabilité décennale.

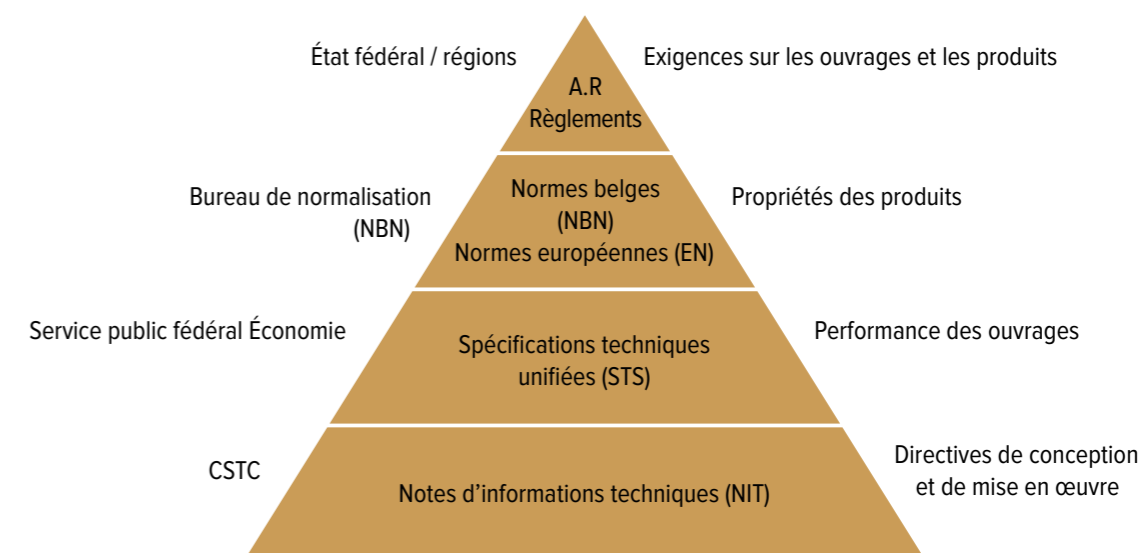


Figure 5: Belgique - Hiérarchisation des documents relatifs aux produits et aux performances dans la construction

Une norme produit européenne harmonisée est obligatoire sans qu'elle ne soit mentionnée. Lors de contestation, lors d'accident, une norme peut être invoquée notamment au niveau de la sécurité, structurelle.

Mis à part ceux qui seraient imposés par arrêté royal et/ou règlement, aucun document n'est obligatoire en soi, sauf si le cahier spécial des charges ou les documents contractuels y font référence. Le cas échéant, le respect des normes, STS ou des NIT n'est donc pas contraignant. Toutefois, en cas de litige, ceux-ci seront presque toujours considérés par les experts et les tribunaux comme des 'règles de bonne pratique'.

Comparativement au DTU français, il s'agit de documents qui constituent des codes de bonne pratique et que l'on peut donc mettre en parallèle avec les Notes d'Information Techniques du CSTC ou certains STS (qui peuvent aussi comporter des recommandations de mise en œuvre), si ce n'est que ceux-ci ont la particularité de devenir des normes françaises.

Le contexte français

Le contrôle du respect des règles de construction porte sur tout ou partie des règles citées à l'article L. 152-1 du code de la construction et de l'habitation. Il s'agit donc des textes réglementaires (décrets codifiés et arrêtés correspondants) concernant l'accessibilité des personnes handicapées, la sécurité contre l'incendie, la protection contre les risques de chute, le passage du brancard, l'aération, les portes automatiques de garage ou encore les caractéristiques acoustiques et thermiques, ainsi que les réglementations concernant les termites, la prévention du risque sismique et la gestion des déchets de chantier de démolition.

Par ailleurs, les méthodes de contrôle évoluent régulièrement pour tenir compte des nouveaux dispositifs réglementaires, en particulier de la mise en place, en fin de chantier, des attestations de prise en compte de la réglementation.

La hiérarchie des règles de construction est organisée de la manière suivante :

Les textes législatifs et réglementaires qui sont applicables à tous :

- ▶ Les lois et leurs textes d'application, décrets et arrêtés, et les textes réglementaires locaux, définissent des règles obligatoires pour tous. Les services de l'État les élaborent après avoir consulté les représentants des secteurs économiques concernés.
- ▶ Le code de la construction et de l'habitation (CCH) intègre la réglementation technique : acoustique, accessibilité, thermique, sismique, incendie, etc.
- ▶ Certaines dispositions réglementaires du bâtiment sont dans d'autres codes ou ne sont intégrées dans aucun code. Par exemple : les règles relatives à la sécurité des locaux professionnels sont dans le code du travail.

Les règles techniques dont l'application n'est imposée que dans certains cas :

- ▶ Les normes françaises sont élaborées et diffusées par l'Association Française de Normalisation (AFNOR s. d.).
- ▶ Les documents techniques unifiés (DTU) sont élaborés et diffusés sous l'égide du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB).
- ▶ Les avis techniques sont délivrés exclusivement par le C.S.T.B. et fournissent uniquement l'avis d'une commission d'experts sur un procédé ou des matériaux nouveaux.
- ▶ Les règles et recommandations professionnelles sont des documents techniques élaborés par les professionnels eux-mêmes, en l'absence d'autres textes, pour déterminer les modalités d'exécution de travaux. Les contrats d'assurance ne les prennent en compte que dans la mesure où elles ont été acceptées par les assureurs. Elles ne sont applicables que si le marché de travaux s'y réfère. Il n'en demeure pas moins qu'en l'absence d'autres documents, elles servent souvent de référence en cas de litiges ou de sinistres.

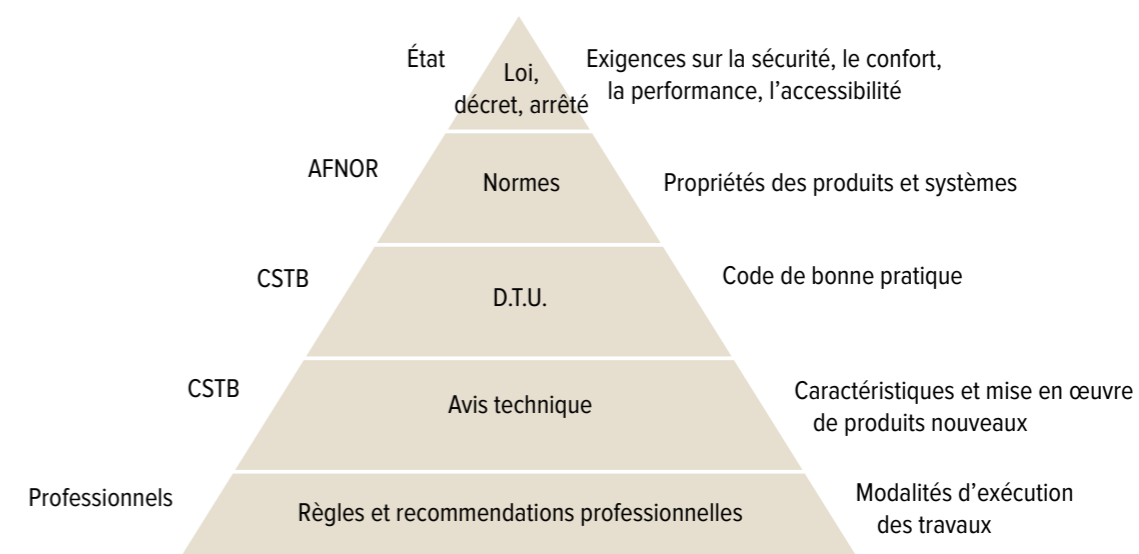


Figure 6: France - Hiérarchisation des documents relatifs aux produits et aux performances dans la construction

Paille et réglementation

Commençons par les points communs : Il est possible de construire en paille dans les deux pays bien que l'approche soit différente.

Le contexte réglementaire français nécessitait un document officiel pour permettre la prise en charge des constructions paille par les Assurances. La publication des règles professionnelles de construction en paille CP2012 par le RFCP, reconnue par la C2P (Commission Prévention Produit), a permis un développement rapide de la construction en paille dans les bâtiments publics.

La Belgique ne dispose pas de textes spécifiques à la construction en paille. Les projets doivent respecter la réglementation générale de la construction et il est possible d'utiliser des textes étrangers pour justifier les solutions constructives retenues. Par exemple, les bâtiments publics belges réalisés en paille se basent sur les règles CP2012 et la résistance au feu des parois se basait sur les tests allemands.

Adaptation des règles construction en paille CP2012 au contexte belge

La plupart des chapitres des règles CP2012 disposent d'un paragraphe introductif relatif au « Contexte normatif et références ». Ces chapitres font l'objet d'un addendum en fin de document présentant les équivalences normatives entre la France et la Belgique. Les normes européennes sont évidemment communes aux deux pays bien qu'il existe parfois des annexes nationales et des exigences spécifiques pour chaque pays ou même en fonction de l'implantation des chantiers. L'addendum fournit les équivalences entre les DTU français et les NIT/STS belges. Dans la mesure du possible, les documents belges abordant le même sujet que les DTU français ont été recherchés mais les contenus peuvent diverger.

Par exemple, la construction en ossature bois est abordée dans le DTU 31.2 en France et dans les STS 23 en Belgique. Cela ne signifie pas que les exigences contenues dans ces deux documents sont similaires.

L'addendum propose des détails architecturaux compatibles avec la réglementation thermique PEB. Il s'agit d'exemples qui n'ont pas de caractère obligatoire. Les concepteurs ont toute liberté d'adapter ces exemples et restent responsables de leurs détails d'exécution qui doivent répondre à des critères essentiels de qualité tels que :

- ▶ **Traitement des nœuds constructifs**
- ▶ **Étanchéité à l'eau (précipitations, fondations, remontées capillaires)**
- ▶ **Étanchéité à l'air**
- ▶ **Gestion des transferts de vapeur**

D'autre part, l'addendum comprend aussi un retour d'expérience sur les pratiques spécifiques en Belgique.

Il est donc recommandé aux Maîtres d'ouvrage et aux Architectes belges de se référer dans les cahiers spéciaux des charges à cet addendum pour adapter le contexte réglementaire des règles CP2012 au contexte belge.

CCTB 2022

Le Cahier des Charges Type-Bâtiments CCTB 2022 est l'outil technique de référence pour la construction et la rénovation des bâtiments publics de la Wallonie et de la Fédération Wallonie-Bruxelles.

Cet outil disponible en ligne et gratuit est destiné à tous les acteurs privés (entreprises, auteurs de projets, etc.) et publics (administrations, communes, CPAS, etc.) qui réalisent des projets publics. Sa mise en application est obligatoire pour tous les travaux de bâtiments subsidiés à plus de 50% par la Wallonie ou la Fédération Wallonie-Bruxelles.

Le CCTB est une base fiable pour différents publics :

- ▶ **Les prescripteurs, pour l'élaboration de leurs cahiers spéciaux des charges**
- ▶ **Les producteurs, disposent d'un référentiel décrivant les caractérisations nécessaires des matériaux ou systèmes constructifs**
- ▶ **Les entrepreneurs, disposent d'instructions claires dans la réalisation des travaux prescrits**

Dans une perspective de développement de l'éco-construction et l'éco-rénovation, la Direction du Développement Durable (SPW) a intégré de nouvelles prescriptions relatives aux éco-matériaux dans le Cahier des Charges Type-Bâtiments 2022.

On y retrouve des articles de prescription dédiés à la construction bois, l'utilisation de bottes de paille, d'argile, de chaux,...

3. SÉCURITÉ INCENDIE

Contrairement aux idées reçues, la paille ne présente pas de dangers particuliers face au feu comparé aux autres matériaux de construction. Pour qu'un feu brûle, il lui faut de l'oxygène. La paille en vrac, brûle facilement, pas les bottes de paille bien compressées qui privent le feu d'oxygène.

Au contraire, leur densité et leur bonne isolation thermique en font des excellents retardateurs de feu. Finalement, c'est pendant le chantier de construction qu'il faut être particulièrement vigilant à ce que les quelques brins de paille qui s'échappent des bottes pendant leur manutention ne s'accumulent pas en vrac dans un coin, ce qui deviendrait alors propice à une combustion facile.

La Directive européenne 89/106/CEE sur les produits de construction définit de la façon suivante les objectifs en matière de sécurité incendie : « L'ouvrage doit être conçu et construit de manière qu'en cas d'incendie :

- ▶ **La stabilité des éléments porteurs de l'ouvrage puisse être présumée durant une durée déterminée**
- ▶ **L'apparition et la propagation du feu et de la fumée à l'intérieur de l'ouvrage soient limitées**
- ▶ **L'extension du feu à des ouvrages voisins soit limitée**
- ▶ **Les occupants puissent quitter l'ouvrage indemnes ou être secourus d'une autre manière**
- ▶ **La sécurité des équipes de secours soit prise en considération**

L'objectif prédominant est donc la protection des personnes, qu'il s'agisse des occupants (habitants ou public), des secours ou des riverains.

Les exigences de sécurité dépendent :

- ▶ **De la hauteur et la date de construction**
- ▶ **Des fonctions et occupations des bâtiments**
- ▶ **De l'accessibilité du bâtiment**

Le comportement au feu des produits de construction est exprimé par des performances minimales que les produits de construction doivent assurer pendant un certain temps.

La réglementation incendie se base sur les classes européennes définies dans le cadre du règlement sur les produits de construction (Règlement européen (UE) n° 305/2011 sur la commercialisation de produits de construction) pour la définition de ces performances.

Les classes européennes font partie du système d'harmonisation européenne permettant de créer un marché uni pour des produits de construction en Europe. Le marché uni assure que des produits de construction mis sur le marché dans un état membre et testés à cette fin peuvent être également mis sur le marché dans les autres états membres sans essais supplémentaires. A cette fin, les États membres ont introduit dans leurs législations nationales le système de classement des performances des produits de construction.

Les Normes de Base en Matière de Prévention contre l'Incendie et l'Explosion (Moniteur Belge 2012) mais aussi d'autres textes législatifs, prescrivent la performance en matière de résistance au feu qu'un élément de construction doit présenter en fonction des caractéristiques du bâtiment (hauteur, type d'utilisation, etc.).

La résistance au feu est l'aptitude d'un élément de construction à conserver, pendant une durée déterminée, la stabilité au feu, l'étanchéité au feu, l'isolation thermique et/ou toute autre fonction exigée. L'indicateur REI est exprimé en minutes.

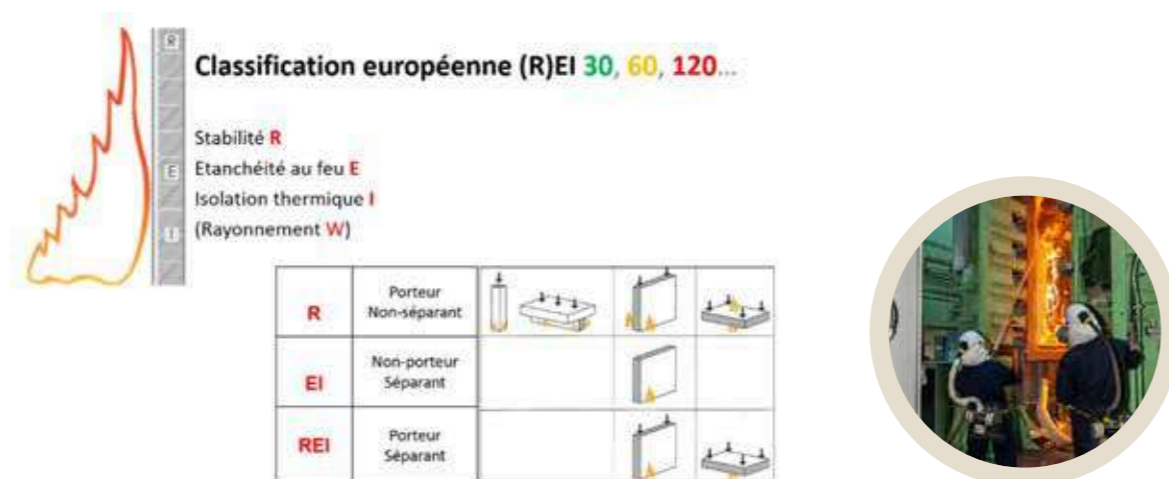


Figure 7: Illustration des classes de résistance au feu pour différents éléments de construction (Source: CSTC)

Ces classements sont délivrés sur base des normes européennes EN 13501-2, EN 13501-3 et EN 50200. La résistance REI peut être validée par des essais ou des calculs (pour la Résistance R uniquement) conformes aux normes précitées.

Ces normes sont européennes mais leurs applications présentent des spécificités dans chaque pays. Le projet Interreg Formawood propose un document présentant les normes européennes relatives à la sécurité incendie, ainsi que leurs applications en Belgique et en France (Formawood 2019b). Un test réalisé dans un pays peut être utilisable dans un autre pays s'il est validé par l'organisme national en charge de la sécurité incendie (ISIB Fire s. d.).

Pour les murs isolés en paille, de nombreux tests de façade ont validé de REI de 60 à 120 minutes. Les rapports d'essai sont disponibles sur la bibliothèque en ligne du projet Interreg UP STRAW (Chapitre '02b-CPR2 Safety in case of fire') dédiée à la construction en paille. La bibliothèque est accessible dans les ressources du Réseau belge francophone de la construction paille : www.rbfcp.be.

4. PROGRAMMATION

Les techniques de construction en paille sont utilisables pour la plupart des bâtiments : logements, bureaux, écoles, entrepôts, gymnases, etc. Il est cependant important de vérifier à priori que ces techniques sont compatibles avec les réglementations applicables au projet envisagé.

Les coûts et les délais du chantier orienteront également les solutions constructives : la préfabrication permet des chantiers très rapides mais un chantier participatif permet de réduire les coûts. Des solutions intermédiaires sont possibles de l'auto-construction complète à la préfabrication et livraison clé sur porte. Ce choix dépendra aussi de la volonté du Maître d'Ouvrage et de la procédure de passation de marchés envisagée.

En termes de gestion de projet, la construction en paille présente 2 spécificités importantes :

- ▶ **La production de paille est locale (pas ou peu encore de centrale d'achat) et saisonnière (généralement en été)**
- ▶ **La botte de paille constitue un bloc de construction dont les dimensions standards (typiquement 37 x 47 x 80 cm) doivent être prises en compte le plus tôt possible**

Prescrire les bâtiments en paille

La programmation est un moment clé du projet de construction : en orientant le cahier des charges vers des exigences de performances techniques et environnementales, le cahier des charges pourra orienter les propositions vers des constructions en paille.

Performance thermique : il est possible de réaliser des bâtiments en paille de très haute performance énergétique, voire des bâtiments passifs.

Performance environnementale : les systèmes constructifs utilisant le bois et la paille sont parmi les meilleures solutions pour réduire l'impact environnemental des bâtiments. Il est possible d'exiger des analyses de cycle de vie (ACV) du projet ou au moins des principaux systèmes constructifs, pour justifier ce critère.

Rapidité et propreté du chantier : les grands chantiers utilisent généralement des systèmes de préfabrication, ce qui réduit fortement les durées de chantier. Ces chantiers sont également plus propres et présentent moins de nuisances de chantier (assemblage en filière sèche).

Performance économique : le coût global, intégrant les frais de construction et d'exploitation, peut aussi être un critère d'évaluation du marché.

Point de vigilance : il est possible d'exiger spécifiquement la paille dans le cahier des charges. En revanche, il n'est pas possible d'imposer des critères d'origine dans un marché public (par exemple : paille provenant d'un rayon de 50 km autour du chantier), ce qui est considéré comme un biais à la libre concurrence dans les marchés publics européens, il est toutefois possible que des critères environnementaux appliqués à une construction favorise l'utilisation de matériaux locaux..



Phasage et planning

Disponibilité des professionnels

Le maître d'ouvrage peut réaliser un travail de sourcing pour identifier anticipativement les acteurs locaux (Architectes, Ingénieurs, Entreprises). Si l'expertise de la construction bois est répandue, l'expertise de la construction paille l'est moins. Dès lors, il est nécessaire de s'assurer que les acteurs concernés ont les capacités techniques et administratives de répondre au programme et au planning.

La connaissance des acteurs professionnels orientera aussi le mode de consultation des entreprises : les professionnels de la construction en paille sont plutôt des PME. Une consultation en entreprise générale facilite la gestion du chantier mais ne permettra peut-être pas à ces PME de répondre. Un marché en lots séparés ouvre une possibilité de réponse aux PME. Ce type de marché permet de solliciter plus facilement les professionnels locaux mais demande aussi un travail de coordination plus important.

Anticiper la fourniture

La disponibilité de la paille doit être vérifiée dans les premières phases du projet afin de définir les quantités nécessaires et identifier les producteurs en capacité de fournir des bottes de qualité en quantité suffisante.

Ce travail de sourcing peut être réalisé par le Maître d'ouvrage en programmation ou en avant-projet par l'équipe de Maîtrise d'œuvre.

Les dimensions des bottes influenceront les choix constructifs et la trame des bâtiments. Cependant, il n'est pas toujours possible d'identifier les fournisseurs de paille avant la consultation des entreprises. Les concepteurs veilleront donc à garder une certaine souplesse pour adapter le bâtiment aux techniques proposées par les entreprises.

Étant donné le décalage entre la période de récolte et les chantiers, les conditions de stockage doivent aussi être anticipées pour assurer une bonne conservation de la paille.

Fourniture de la paille

La fourniture de paille destinée à la construction doit répondre à plusieurs exigences :

- ▶ **Quantité suffisante pour le chantier**
- ▶ **Stockage et préservation de la paille depuis la récolte jusqu'à la réception du chantier**
- ▶ **Qualité de la paille conforme à un usage en construction**

Dans la plupart des chantiers de construction en paille, un producteur de paille est identifié à proximité du projet. Les quantités, la qualité de la paille, les conditions de stockage et de livraison sont négociées et un contrat peut être réalisé si nécessaire dans le cadre d'un marché public.

La qualité de la botte de paille doit aussi être validée pour un usage en construction. Des procédures qualité existent déjà dans certains pays européens et le projet Interreg UP STRAW en propose une synthèse afin que les pays souhaitant une procédure qualité puissent la mettre en œuvre rapidement. Pour la Belgique, la procédure se base sur les exigences des règles CP2012.

Un contrat type de fourniture et la procédure qualité proposée pour la Belgique sont disponibles dans les ressources du Réseau belge francophone de la construction paille : www.rbfcp.be.

5. CONCEPTION

Aspects structurels

Les Eurocodes concernent notamment :

- ▶ La sécurité à considérer dans la construction (Eurocode 0 – EC0)
- ▶ Les charges à considérer (Eurocode 1 - EC1)
- ▶ Les règles de dimensionnement propres au matériau bois (Eurocode 5 - EC5)

Chaque pays a rédigé à partir de ces textes normatifs, des documents d'application nationale dont les recommandations peuvent s'écarter ou réinterpréter les valeurs des Eurocodes.

Les STS belges et les DTU français contiennent la synthèse des normes relatives à la stabilité des bâtiments.

Pour la construction en paille utilisant une structure en bois, le projet doit répondre aux exigences relatives à la construction en bois. La paille est considérée comme un isolant de remplissage et ne contribue pas à la structure.

Pour la paille porteuse, seuls les Etats-Unis et le Royaume-Uni disposent de cadres réglementaires validant les bâtiments en bottes de pailles autoporteurs (Gadret 2017). Les règles CP2012 ne concernent pas la paille porteuse.

Performances thermiques

Principes

La conductivité thermique (λ) est une caractéristique propre à chaque matériau. Elle indique la quantité de chaleur qui se propage :

- ▶ En 1 seconde
- ▶ À travers 1 m^2 d'un matériau
- ▶ Épais d'un 1 m
- ▶ Lorsque la différence de température entre les deux faces est de 1 K ($1 \text{ K} = 1^\circ\text{C}$)

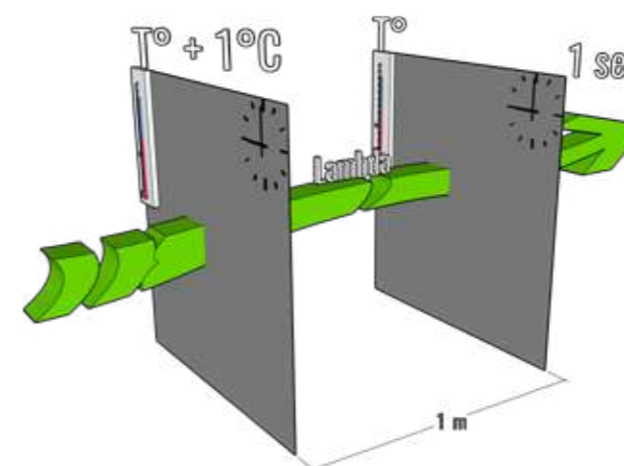


Figure 8: Conductivité thermique d'un matériau (Source : Cluster Eco-construction)

λ s'exprime en **W/m.K**.

Plus la conductivité thermique est élevée, plus le matériau est conducteur de la chaleur. Plus elle est faible, plus le produit est isolant. Ce coefficient n'est valable que pour les matériaux homogènes. Il n'a pas de sens pour les matériaux hétérogènes au travers desquels la chaleur se propage en même temps par conduction, convection et rayonnement. Le coefficient de conductivité thermique d'un matériau varie en fonction de la température et de l'humidité de celui-ci.

Les documentations technico-commerciales et les réglementations thermiques des matériaux précisent la valeur du λ .

Remarque : λ est une caractéristique physique du matériau indépendant de sa forme.

La conductance thermique (U) indique la quantité de chaleur qui se propage :

- ▶ En 1 seconde
- ▶ À travers 1 m² d'une couche de matériau
- ▶ D'une épaisseur déterminée
- ▶ Lorsque la différence de température entre les deux faces est de 1 K (1 K = 1°C)

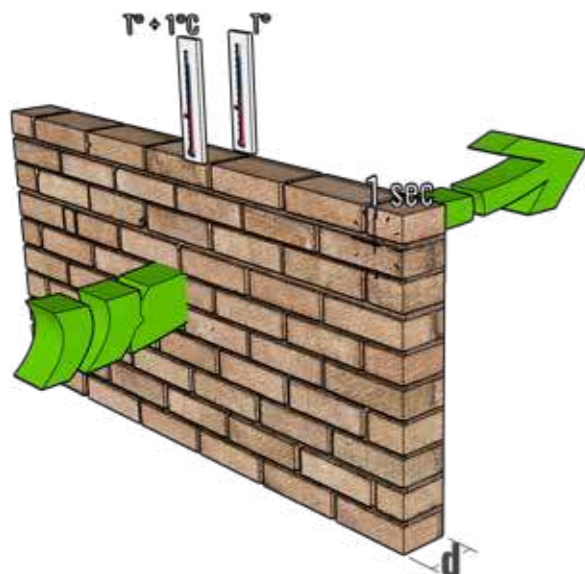


Figure 9: Conductance d'un matériau (Source : Cluster Eco-construction)

U s'exprime en **W/m²K**.

Plus la transmission thermique est élevée, plus la couche laisse passer la chaleur. Ce coefficient est valable pour les matériaux homogènes et pour les matériaux hétérogènes.

- ▶ Matériau homogène : avec d, épaisseur de la paroi (m)

$$U = \frac{\lambda}{d}$$

- ▶ Matériau hétérogène : U est déduite d'essais effectués en laboratoire

La résistance thermique (R) est l'inverse de la transmission thermique.

$$R = \frac{1}{U}$$

R s'exprime en **m²K/W**.

C'est la mesure de performance de la couche isolante. Plus la résistance thermique est élevée, plus la couche est isolante. Ce coefficient est valable pour les matériaux homogènes et pour les matériaux hétérogènes.

La résistance thermique totale RT d'une paroi d'ambiance intérieure chaude à ambiance extérieure froide, est égale à la somme des résistances thermiques de toutes les couches de matériaux ou d'air peu ou non ventilé, qui constituent la paroi, et des résistances d'échange superficiel.

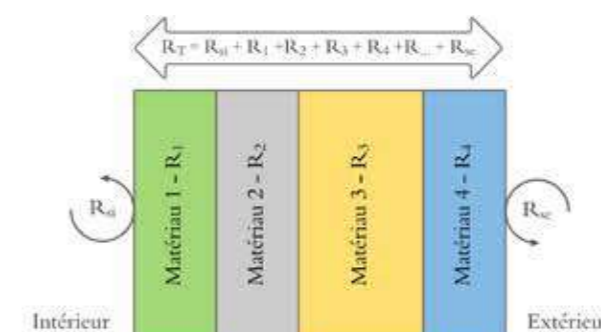


Figure 10 : Propagation de la chaleur à travers une paroi (Source : Cluster Eco-construction)

Conductivité thermique de la paille

En Belgique

Dans le cadre des projets Bâti C² Interreg France-Wallonie-Vlaanderen Bâti C² et North West Europe UP STRAW, nous avons tenté de clarifier la déclaration de la conductivité de la paille dans la PEB.

Les informations suivantes sont basées sur notre interprétation des documents de référence pour les pertes par transmission (Annexe B1 DRT 2019 et Energiesparen 2018), sur les consultations avec l'agence flamande de l'énergie (VEA) et le Service Public de Wallonie (SPW).

Nous conseillons aux responsables PEB de valider les valeurs retenues pour votre projet auprès de la VEA ou du SPW.

Les partenaires de Bâti C² et UP STRAW ne peuvent être tenus responsables des litiges résultant des conseils suivants.

Valeurs lambda

Les valeurs λ présentes dans la réglementation belge sont les suivantes :

- ▶ Valeur lambda déclarée - λ_D : valeur lambda spécifiée par le fabricant sur la base de la NBN EN ISO 10456 (avec un certain nombre de conditions supplémentaires non développées ici). Les valeurs déclarées sont fournies sur la base d'une norme de produit NBN EN ou d'un ETA (agrément technique européen)
- ▶ λ_{int} : représente la conductivité thermique d'un matériau utilisé dans des conditions intérieures.
- ▶ λ_{ue} : cette valeur lambda est utilisée pour des matériaux des murs extérieurs qui peuvent s'humidifier en raison de la pluie, de la condensation ou de l'humidité

Quelle valeur lambda faut-il utiliser pour la paille dans la PEB ?

Pour déterminer la valeur lambda de la paille, veuillez consulter l'arbre de décision en annexe 10.1. Puisque la paille doit être utilisée dans des conditions sèches, la valeur λ_{ui} est prise en compte.

Voici une brève explication de l'arbre de décision et de la meilleure façon de déterminer la valeur lambda à inscrire dans la déclaration PEB.

1. Pour les produits prêts à l'emploi, on peut d'abord vérifier si la valeur λ_{ui} est disponible (voir documents de références de la PEB).
2. Si la procédure prévue dans le document de référence pour les pertes de transmission n'est pas respectée pour déterminer la valeur lambda d'un matériau, il faut alors prendre en compte les tableaux dans le document de référence pour les pertes de transmission. Ceux-ci se différencient selon un certain nombre de critères (voir aussi l'arbre de décision pour la paille dans la PEB).

Le produit est-il fabriqué en usine ou in situ ?

Les matériaux/éléments fabriqués en usine se verront attribuer une meilleure valeur d'isolation dans la réglementation PEB que les matériaux fabriqués in situ.

Dans le cadre de Bâti C², les entretiens avec l'Agence flamande de l'énergie (VEA) ont conclu que les bottes de paille ne sont pas considérées comme des « éléments standards » dans la PEB. Elles sont considérées comme une application artisanale pour laquelle aucune composition fixe ni aucun mélange mécanique fixe ne peut être revendiqué, ce qui ne fait qu'aucune « valeur lambda standard » ne peut être garantie selon des mesures objectives. Par conséquent, les bottes de paille non-attestées sont toujours envisagées comme « placées in situ », qu'elles soient placées dans une construction sur un site ou dans des éléments préfabriqués au sein d'un atelier.

En l'absence de valeur λ_{ui} attestée, la valeur d'isolation d'une botte de paille doit par conséquent toujours être déterminée selon le tableau A.14.b (Energiesparen.be 2018) : $\lambda_{ui} = 0,08 \text{ W/m}^2\text{K}$

Les panneaux ou couvertures standardisés en paille (par exemple les panneaux en paille compressée), ayant une valeur lambda constante peuvent être classés dans la catégorie « fabriqué en usine » dans la réglementation sur la performance énergétique. Dans ce cas, la valeur λ doit être déterminée selon le tableau A.14.a = $0,06 \text{ W/m}^2\text{K}$ à une densité spécifique comprise entre 50 et 150 kg/m³.

Dans le cadre du projet UP STRAW, les échanges avec le Service Public de Wallonie sont en cours à la date d'impression de ce document. Les conclusions se trouvent dans les ressources du Réseau belge francophone de la construction paille : www.rbfcp.be.

En France

Le λ considéré dans la réglementation thermique française RT2012 (Légifrance s. d.) est de 0.052 (flux thermique perpendiculaire au sens de la paille) ou 0.08 W/m.K (flux thermique dans le sens de la paille).

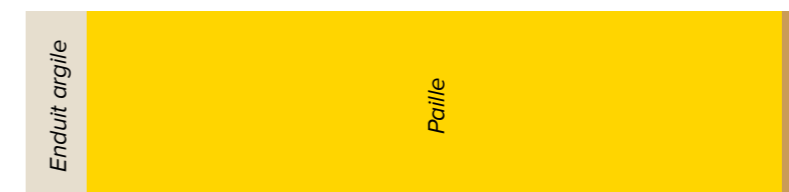
Résistance thermique des parois

En Belgique, la réglementation PEB exige des U minimaux pour l'enveloppe du bâtiment (sol, mur, toiture) de $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ (energie.wallonie.be s. d.).

La RT 2012 exige un niveau global de performance du bâtiment mais ne présente plus d'exigence minimale pour le U des parois extérieures (sauf pour les parois donnant sur des locaux à occupation discontinue : celles-ci doivent être bien isolées et le coefficient U de ces parois devra être inférieur à $0,36 \text{ W/(m}^2\text{K)}$). Pour donner des ordres de grandeur, l'ancienne RT 2005 demandait des U pour les murs, sols et plafonds de respectivement 0.36, 0.27 et $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ (juri-logement.org s. d.).

Passivhaus est un label allemand de très haute performance énergétique non obligatoire. Il préconise quant à lui des U de 0.10 à $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Exemple :



	e (mm)	(W/m.K)	R (m ² .K/W)
Résistance superficielle intérieure			0,13
Enduit argile	40	0,8	0,05
Paille	460	0,06	7,67
Fibre de bois	16	0,09	0,18
Résistance superficielle extérieure			0,04
		R Total	8,06
		U (W/m ² .K)	0,12

Une valeur de conductance de $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ est deux fois plus performante que l'exigence minimale de la PEB pour les parois extérieures. Cette valeur est compatible avec les recommandations du label Passivhaus.

Outils :

Tous les logiciels de calcul réglementaire de la performance énergétique des bâtiments réalisent ces calculs.

Ubakus.com est un logiciel en ligne et gratuit évaluant la résistance thermique des murs et le risque de condensation.

Lots techniques – Techniques spéciales

Les murs en paille constituant les parois extérieures du bâtiment, il est conseillé d'éviter autant que possible de faire passer des réseaux dans ces parois afin de préserver l'étanchéité à l'air et d'éviter les ponts thermiques.

Nœuds constructifs et ponts thermiques

Les nœuds constructifs se situent à la rencontre entre deux parois ou au niveau d'un percement ou d'une irrégularité de paroi. Ils sont le siège de transferts thermiques spécifiques. Ceux-ci doivent, lorsqu'on établit la performance d'ensemble d'un local ou d'un bâtiment, être additionnés ou soustraits des transferts propres aux parties homogènes des parois. Ces nœuds constructifs sont appelés « ponts thermiques » quand ils occasionnent des déperditions thermiques plus importantes. Les ponts thermiques sont des « défauts » de conception ou de réalisation de l'enveloppe du bâtiment. L'influence relative d'un pont thermique est d'autant plus importante que la performance thermique des parois avoisinantes est élevée (Architecture et Climat 2010). Ces déperditions doivent être prises en compte dans les calculs thermiques réglementaires.

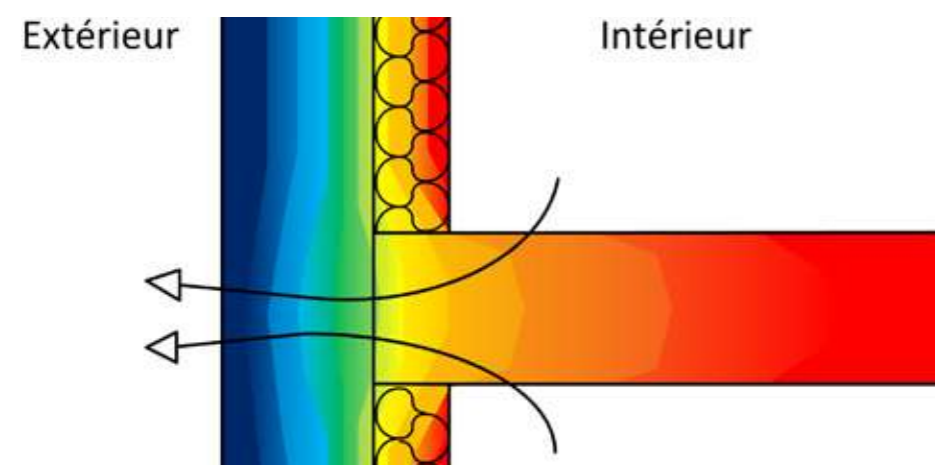


Figure 11 : Principales familles de ponts thermiques selon la RT2012 (Source : Wikipédia – Pont thermique)

Pour la RT2012 française, les valeurs de ponts thermiques sont disponibles dans la réglementation et sont intégrés dans les logiciels de calcul réglementaire thermique. Le Réseau Français de la Construction Paille propose un Cahier des ponts thermiques spécifiques pour les parois isolées en paille (Milési, Floissac, et Canzian, s. d.).

Ce cahier n'est pas utilisable en Belgique car les surfaces de parois sont comptées depuis l'extérieur contrairement à la France où les surfaces sont comptées depuis l'intérieur : un même pont thermique aura donc des valeurs différentes selon la méthode de comptage.

La Belgique propose 3 méthodes de calcul (energie.wallonie.be 2015) :

- ▶ **Option A, la méthode détaillée.** Dans ce cas, chaque nœud constructif est calculé individuellement (typiquement avec un calcul numérique)
- ▶ **Option B, la méthode des nœuds PEB conformes** (analyse qualitative de la continuité de l'isolation). Une pénalité est appliquée à la valeur K (le niveau d'isolation thermique globale K est un indicateur de la performance énergétique de l'enveloppe du volume protégé (principe sensiblement équivalent au Ubat en France))
- ▶ **Option C, la méthode du supplément forfaitaire pénalisant le niveau K.** Cette méthode, par ailleurs fortement défavorable, consiste à ajouter forfaitairement 10 points à la valeur K

Des exemples de nœuds constructifs en construction paille compatibles avec la PEB sont proposés dans l'addendum belge du cahier technique.

Outils :

En Belgique, la Plateforme Maison Passive (PMP) propose un catalogue des nœuds constructifs et une liste de logiciels pour le calcul de ces nœuds. Il est aussi possible de se référer au catalogue suisse des ponts thermiques édité par l'Office fédéral de l'énergie OFEN (Office fédéral de l'énergie 2002). Le catalogue n'est pas spécifique à la paille mais les valeurs de U utilisées sont compatibles avec des parois isolées en paille.

Un catalogue des ponts thermiques du bâtiment de l'abbaye de Plankstetten est disponible sur la plateforme du Passive House Institute (passivehouse.com s. d.).

Étanchéité à l'air

Les infiltrations d'air liées aux défauts d'étanchéité sont sporadiques, incontrôlables et réparties de manière inégale au sein du bâtiment. Elles entraînent un renouvellement d'air excessif dans certains locaux, les rendant parfois 'inchauffables'. Par ailleurs, il est fréquent que d'autres locaux au sein du même bâtiment soient très étanches à l'air, ce qui se traduit par un renouvellement d'air totalement insuffisant. Un bâtiment globalement peu étanche à l'air n'offre donc en aucun cas la garantie que l'air sera de bonne qualité dans tous les locaux.

Les systèmes de ventilation hygiénique sont conçus et installés pour assurer la qualité de l'air intérieur dans tous les locaux tout en limitant l'impact énergétique qui en résulte. Ils offrent en outre des possibilités de contrôle aux occupants. Comme les autres installations techniques du bâtiment, ces systèmes nécessitent un entretien correct et régulier.

Rendre les bâtiments étanches à l'air, tout en les ventilant de manière contrôlée sont deux impératifs complémentaires nullement contradictoires.

Au-delà de l'aspect purement réglementaire et des économies d'énergie qu'elle engendre, une bonne étanchéité à l'air permet d'éviter des problèmes de condensation interne au sein des parois, mais peut aussi fortement influencer le niveau de confort thermique et acoustique d'un bâtiment.

Étanchéité à l'air	PEB	RT 2012	Passivhaus
Obligatoire ?	Oui - réglementation thermique	Oui - réglementation thermique	Non - Label - Démarche volontaire
Indicateur d'étanchéité à l'air	v_{50} ($m^3/(h.m^2)$) Débit de fuite (m^3/h) à 50 Pa par unité de surface totale (sur base des dimensions extérieures) des parois qui enveloppent le volume mesuré lors de l'essai d'étanchéité à l'air, à l'exception des parois contigües à des espaces adjacents chauffés	Q4Pa-surf ($m^3/(h.m^2)$) Débit de fuite (m^3/h) par m^2 de surface déperditive hors plancher bas sous une dépression de 4 Pa	n_{50} (vol/h) Taux de renouvellement d'air mesuré à une différence de 50 Pa
Nota : Ne pas confondre les différents indicateurs d'étanchéité à l'air, les pressions et les surfaces/volumes de référence ne sont pas identiques			

Exigence de moyens/résultats	Si aucun test d'étanchéité à l'air n'a été effectué, il faut prendre la valeur par défaut de (v_50); Si un test d'étanchéité a été effectué, conformément aux spécifications de la Région wallonne, celui-ci permet d'obtenir la valeur (v_50) à prendre en considération. Le document attestant cette valeur est à joindre à la déclaration. Valeur par défaut : 12 m³/(h.m²) pour les calculs de chauffage et 0 m³/(h.m²) pour les calculs de surchauffe et de refroidissement.	Le traitement de la perméabilité à l'air des bâtiments à usage d'habitation est obligatoire. Il est possible de justifier ce traitement soit par une mesure, soit en adoptant une démarche certifiée de qualité de l'étanchéité à l'air du bâtiment. Les seuils réglementaires sont les suivants : • 0,6 m³/(h.m²) pour les maisons individuelles • 1 m³/(h.m²) pour les logements collectifs Pour le secteur tertiaire, aucune exigence de résultat n'est imposée. Une valeur par défaut est prise en compte dans le calcul thermique. Une autre valeur peut également être prise en compte dans le calcul, auquel cas une justification du niveau atteint doit être apportée en fin de travaux.	Exigence explicite : n50 ≤ 0,6 vol/h Le test est obligatoire
Calcul	Logiciel PEB	Logiciels accrédités pour les calculs RT2012	Logiciel PHPP
Nota : Ne pas confondre les différents indicateurs d'étanchéité à l'air, les pressions et les surfaces/volumes de référence ne sont pas identiques			

Les recommandations courantes (CIFFUL 2013a) sur la mise en œuvre, la continuité et les contrôles de l'étanchéité à l'air s'appliquent aussi à la construction en paille. La paille, comme tous les isolants fibreux, n'est pas étanche à l'air. L'étanchéité est donc assurée par les enduits, les plaques ou les membranes.

Diffusion de la vapeur d'eau

Les matériaux de construction présentent une perméabilité plus ou moins importante à la diffusion de la vapeur d'eau à travers les matériaux. L'eau, à l'état de vapeur, présente peu de risques pour la pérennité des matériaux. Cependant, au cours de sa migration à travers une paroi, la vapeur peut rencontrer des conditions de pression et de température qui pourraient induire une condensation et cette eau liquide peut entraîner des dégradations des matériaux.

La vapeur se diffuse du milieu chaud et humide vers le milieu froid et sec. Sous nos climats, la migration se fait donc généralement de l'intérieur vers l'extérieur mais le sens de cette migration peut s'inverser, en été notamment, pour les bâtiments climatisés.

Pour réduire le risque de condensation dans une paroi multicouche, le principe général est de ne pas avoir une couche au sein de la paroi bloquant la diffusion de vapeur. On veille donc à avoir des couches de plus en plus perméables dans le sens de la diffusion, les couches les plus résistantes à la diffusion de vapeur se trouvent donc du côté intérieur, plus on se dirige vers l'extérieur, plus les couches sont ouvertes à la diffusion de vapeur.

Le coefficient de résistance à la diffusion de vapeur d'un matériau (μ) indique dans quelle mesure, la vapeur d'eau traverse plus difficilement ce matériau que l'air. La valeur μ (μ) d'un matériau est toujours supérieure à 1.

La quantité de vapeur d'eau diffusant à travers une couche d'un matériau déterminé ne dépend pas uniquement de la valeur μ du matériau mais aussi de l'épaisseur de cette couche, de la différence de pression de vapeur d'eau, de la température et de la nature des matériaux. L'épaisseur équivalente de diffusion μd (ou Sd) indique la résistance qu'offre une couche de matériau à la diffusion de vapeur d'eau. μd est le produit du coefficient de résistance à la diffusion de vapeur (μ) par l'épaisseur du matériau (d).

μd s'exprime en **m**.

Le μd d'une couche de matériau correspond à l'épaisseur en mètres de la couche d'air stationnaire qui exercerait la même résistance à la diffusion de vapeur que la couche de matériau.

Pour aller plus loin sur la théorie : (Energie Plus Le Site 2007a; Effinergie 2010)

Exigences :

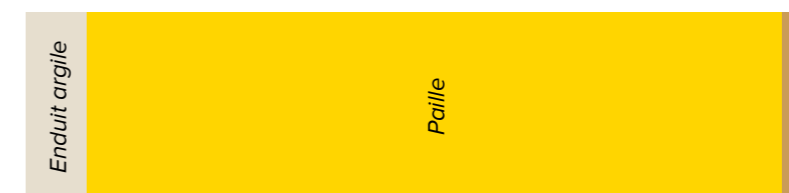
Dans les règles CP2012, les Sd des finitions extérieures et intérieures dépendent de la résistance à la diffusion de ces finitions.

$$1 \leq \frac{Sd_{int}}{Sd_{ext}} \leq 5 \text{ selon choix finitions int/ext et } Sd_{ext} \leq 1 \text{ m}$$

La STS 23.1 pour les constructions en bois sont disponibles sur le site du SPF Economie et préconisent des ratios Sd_{int}/Sd_{ext} de 6 à 15. Dans certaines constructions bois, des panneaux d'OSB sont utilisés en contreventement extérieur. Ce panneau étant déjà assez fermé à la vapeur d'eau, il est nécessaire d'avoir une finition intérieure suffisamment fermée à la diffusion de vapeur. En cas de dérogation à cette règle, les risques de condensations doivent être validés par calcul.

Exemple :

Le mur est composé d'un panneau extérieur en fibre de bois assurant le contreventement et la finition intérieure est composée d'un enduit à l'argile. Le bardage étant ventilé, il n'intervient pas dans le calcul de la diffusion de vapeur.



Finition	μ	d (mm)	sd (m)
Finition extérieure : Panneau de contreventement perspirant en fibre de bois	11	16	$Sd_{ext} = 11 \times 0,016 = 0,176 \text{ m}$
Finition intérieure: Enduit de terre crue	10	40	$Sd_{int} = 10 \times 0,04 = 0,4 \text{ m}$

Pour cette configuration, les règles CP2012 préconisent :

$$Sd_{int} \geq Sd_{ext} \text{ et } Sd_{ext} \leq 1 \text{ m}$$

Cette composition respecte l'exigence.

Outils :

Calcul statique

Le calcul statique évalue le risque de condensation pour des températures et des humidités relatives intérieures et extérieures données.

La plupart des éditeurs de logiciels RT 2012 ainsi que les logiciels de simulation thermique dynamique proposent des outils statiques de calcul des risques de condensation.

Ubakus.com est un logiciel en ligne gratuit évaluant la résistance thermique des murs et le risque de condensation. Outils payants : Eco-sai, Physibel, HTflux.

Calcul dynamique

Les calculs dynamiques calculent la diffusion de vapeur heure par heure à partir de fichiers météorologiques annuels. Ils prennent donc en compte les variations de températures et d'humidité mais aussi l'ensoleillement, l'exposition aux vents et aux pluies, etc. Certains matériaux ont aussi un effet tampon (Capillarité, stockage d'humidité,...), c'est aussi le rôle des calculs dynamiques de considérer ces flux (non linéaires et non perpendiculaires à la paroi).

Logiciel : WUFI

Tableau 1 : Calcul des transferts de vapeur. Comparaison des méthodes statiques et dynamiques (Tilmans 2017)

Comparaison	Avantages	Inconvénients
Calcul statique	Calcul simple et rapide Données d'entrées limitées Interprétation simple des résultats (quantité de condensat)	Stationnaire Pas de stockage d'humidité (matériaux hygroscopiques, etc.) Pas de transfert d'eau liquide (capillarité, etc.) Pas d'effet de l'ensoleillement, de la pluie, ... Pas d'infiltration
Calcul dynamique	Prise en compte du climat réel (T° et HR, mais aussi ensoleillement, pluie, etc.) Prise en compte d'un grand nombre de phénomènes : • Stockage d'humidité et inertie thermique/hydrique • Capillarité et transferts d'eau liquide (absorption capillaire, séchage, etc.)	Calculs complexes Grand nombre de données d'entrées (données matériaux, climats, etc.) Difficulté d'interprétation des résultats

Inertie des bâtiments

L'inertie thermique d'un bâtiment est sa capacité à stocker et à restituer de la chaleur avec un décalage de temps.

Ainsi l'inertie thermique d'une paroi sera principalement déterminée par les propriétés des couches superficielles en contact avec les espaces intérieurs. Pour contribuer à l'inertie, les matériaux intérieurs doivent pouvoir accumuler des quantités d'énergie importantes et doivent présenter un temps de déphasage permettant de libérer la chaleur accumulée durant les périodes les plus fraîches (la nuit et en matinée).

Une inertie thermique importante a un effet positif sur le confort thermique intérieur car elle permet d'aplanir les pics de chaleur en été et aide à éviter les grandes variations de températures en hiver. L'inertie d'une paroi dépend des caractéristiques des matériaux qui la composent.

Si l'inertie est un contributeur important au confort d'été, le contrôle des apports solaires et la stratégie de ventilation ne peuvent pas être négligés.

Le bâtiment le plus inerte finira toujours par surchauffer si des précautions ne sont pas prises pour limiter les apports solaires, le problème sera simplement décalé de quelques jours. Des précautions élémentaires permettent de réduire les surchauffes : évaluer les ouvertures pour assurer un bon confort lumineux sans surdimensionner les baies et prévoir des protections solaires extérieures adaptées en fonction de l'orientation.

La ventilation de confort d'été se distingue d'abord de l'aération hygiénique par des débits de renouvellement d'air bien plus importants : 5 à 10 vol/h voire plus contre 0,5 à 1 vol/h (ICEB 2012). Les stratégies de surventilation doivent donc être envisagées très tôt dans les projets.

Il est important de distinguer les fonctions d'isolation et d'inertie des matériaux. Dans un matériau isolant, c'est l'air immobile qui assure principalement la fonction d'isolation : les matériaux isolants sont donc souvent légers et ne peuvent donc pas accumuler beaucoup de chaleur. Au contraire, les matériaux inertes doivent pouvoir accumuler beaucoup de chaleur et la transférer plus ou moins rapidement. Ces deux fonctions sont donc difficilement compatibles.

Le confort d'un bâtiment est peu affecté par le choix de l'isolant et dépend essentiellement de l'inertie des matériaux à l'intérieur du bâtiment, de la gestion des apports solaires et de la ventilation (CSTC 2010). La paille et le bloc de chanvre font cependant un peu exception à ce constat. Ces isolants étant relativement lourds (100 kg/m³ pour la paille, 340 kg/m³ pour le bloc de chanvre), ils contribuent légèrement à la masse thermique du bâtiment mais les finitions intérieures lourdes restent les principaux contributeurs à l'inertie. D'autre part, si leurs conductivités thermiques ne sont pas exceptionnelles, les épaisseurs usuelles mises en œuvre permettent de dépasser les exigences réglementaires minimales en termes de résistance thermique et de viser les performances de bâtiments passifs.

Outils :

L'inertie d'un matériau est caractérisée par des facteurs tels que la capacité thermique, l'effusivité, la diffusivité. Ces indicateurs sont disponibles dans de nombreuses publications et les outils tels que Ubakus calculant les caractéristiques thermiques et la diffusion de vapeur des matériaux fournissent également des valeurs d'inertie.

Cependant, ces caractéristiques ne permettent pas d'évaluer le confort du bâtiment. Pour cela, l'ensemble des caractéristiques du bâtiment (apports internes/externes, ventilation, vitrages, protections solaires, ...) et du site (météorologique, masques) doivent être pris en compte.

La prise en compte de l'inertie dans les calculs réglementaires RT2012 ou PEB est sommaire. Les logiciels de simulation thermique dynamique (STD) des bâtiments permettent de prendre en compte l'inertie des matériaux, les transferts de chaleur, le confort des bâtiments, la météo. Ces outils prennent en compte les caractéristiques précises des parois et évaluent les flux de chaleur et les températures heure par heure sur une année complète, ils permettent d'évaluer le confort thermique sur la base de températures ressenties ou d'indicateurs de confort (Energie Plus Le Site 2007b).

Performances acoustiques

Le confort acoustique est un élément souvent négligé des espaces intérieurs. Or l'équilibre psychologique et la productivité au travail des occupants y sont intimement liés. Un bon confort acoustique a une influence positive sur la qualité de vie au quotidien et sur les relations entre usagers d'un bâtiment.

A contrario, un mauvais confort acoustique génère des effets négatifs sur l'état de santé : nervosité, stress, sommeil contrarié, fatigue.

Le projet Interreg Formawood propose une fiche technique sur le confort acoustique des constructions bois (Formawood 2019a) qui présente de manière synthétique le sujet de l'acoustique des bâtiments.

Contexte réglementaire et normatif

Belgique

Les exigences applicables sont mentionnées dans les normes NBN S 01-400-1 (2008) pour les immeubles d'habitation et NBN S 01-400-2 (2012) pour les bâtiments scolaires. Pour les autres bâtiments, les exigences reprises dans les NBN S 01-400 (1977) et NBN S01-401 (1987) sont applicables.

France

Les performances acoustiques des bâtiments neufs et en rénovation font l'objet d'arrêtés spécifiques (Ministère de la transition écologique s. d.) aux bâtiments d'habitation, aux établissements d'enseignement, aux établissements de soins et aux hôtels.

Pour les bâtiments d'habitation d'au moins 10 logements dont le permis de construire est déposé depuis le 1er janvier 2013, les maîtres d'ouvrage ont l'obligation de fournir, à l'achèvement des travaux, à l'autorité ayant délivré l'autorisation de construire, une attestation de prise en compte de la réglementation acoustique.

Affaiblissement acoustique des parois en paille

L'affaiblissement d'une paroi en paille dépend des matériaux utilisés pour les finitions intérieures et extérieures. Par exemple, les enduits épais à l'argile permettent d'améliorer cet affaiblissement : il est possible d'atteindre des indices d'affaiblissement acoustique de 43 à 44 dB (Test allemand DIN EN ISO 140-1). D'autres tests et études acoustiques sont disponibles sur la bibliothèque UP STRAW. Ces parois sont compatibles avec des milieux très bruyants comme l'illustrent les figures ci-dessous.

La paille est utilisée essentiellement pour l'isolation de l'enveloppe extérieure. On se référera donc aux articles de la réglementation relatifs à l'isolation acoustique vis-à-vis des bruits extérieurs.

En Belgique, les performances acoustiques des bâtiments sont décrites dans les séries de normes NBN S01-400 spécifiques à chaque typologie de bâtiment.

Par exemple selon la figure ci-dessous et les hypothèses disponibles dans la norme :

- ▶ **Trafic lourd et intense (Classe 3) : 70 dB**
- ▶ **Bâtiment de logement présentant une seule façade exposée au bruit : (m dB = 0)**

L'isolation acoustique de la façade doit être de :

- ▶ **Confort normal : $D_{Atr} = 70 - 34 + 0 = 36$ dB**
- ▶ **Confort supérieur : $D_{Atr} = 70 - 30 + 0 = 40$ dB**

	Confort acoustique normal	Confort acoustique supérieur
Living, salle à manger, cuisine, bureau et chambre à coucher	$D_{Atr} \geq L_A - 34 + m$ dB (1)	$D_{Atr} \geq L_A - 30 + m$ dB (1) et $D_{Atr} \geq 30$ dB (1)
Chambre à coucher	$D_{Atr} \geq 34 + m$ dB (1)(2)	

Figure 12: Belgique - Isolation acoustique des façades de logement selon NBN S01-400-1

En France, les performances acoustiques sont réglementées selon des arrêtés spécifiques à chaque type de bâtiment (Ministère de la transition écologique s. d.).

Tableau des valeurs d'isolement minimal D_{nTAtr} en dB

Distance horizontale (m)		0	10	15	20	25	30	40	50	65	80	100	125	160	200	250	300
		Catégorie de l'infrastructure	1	45	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33
	2	42	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30		
	3	38	38	37	36	35	34	33	32	31	30						
	4	35	33	32	31	30											
	5	30															

Figure 13 : France - Isolation acoustique des façades de logement (Source : Centre National du Bruit 2017)

Notons cependant que les points faibles acoustiques d'une façade sont généralement les menuiseries et les prises d'air. Des points faibles acoustiques peuvent aussi se situer au niveau des raccords, montants et lisses de l'ossature. Ces éléments doivent être choisis judicieusement pour atteindre les performances attendues. Ces éléments doivent être parfaitement posés pour éviter toute dégradation de la performance acoustique de la façade.

Analyse de cycle de vie (ACV) des bâtiments

Une ACV appliquée au niveau de bâtiment permet d'évaluer les impacts environnementaux pour chaque phase dans le cycle de vie d'un bâtiment : la phase de la fabrication des produits de construction, la construction du bâtiment, son utilisation et sa fin de vie (analyse « cradle to grave »).

La revue de la littérature pour les études d'ACV appliquées aux bâtiments montre que la majorité des impacts environnementaux, entre 60 et 90 %, se produit dans la phase d'utilisation. Les impacts sont principalement dus à la consommation d'énergie pendant cette longue et complexe phase. Les maisons construites selon les standards 'basse consommation' ou 'passif' montrent une relation différente entre la phase d'utilisation et les autres phases : la phase de la production peut être plus importante. Donc, le choix des matériaux devient de plus en plus important.

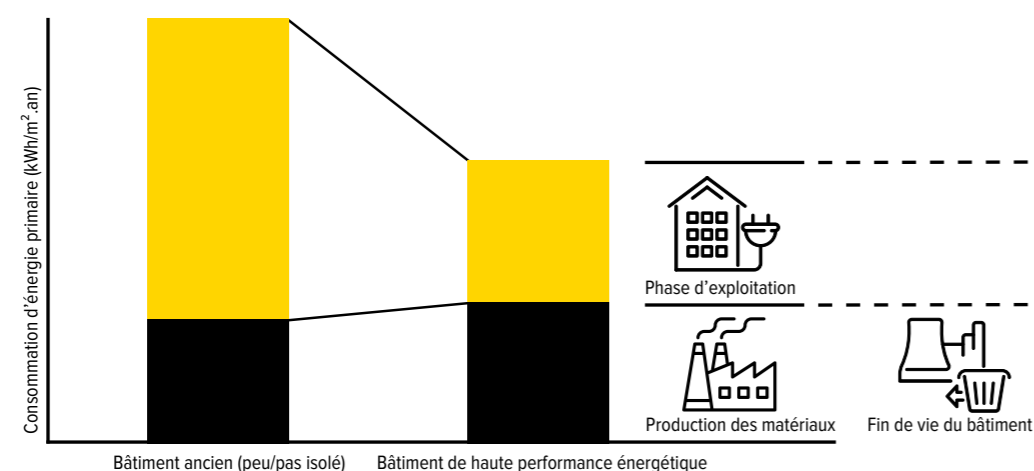


Figure 14: Répartition indicative de l'utilisation d'énergie primaire d'un bâtiment entre la phase d'exploitation et les phases de construction/déconstruction.

L'ACV est un outil permettant de :

- ▶ Quantifier les flux d'énergie, de matière et d'eau, entrants ou sortants, et ce pour chaque étape du cycle de vie du bâtiment
- ▶ Qualifier en traduisant leur impact sur l'environnement à travers différentes catégories d'impact (comme le changement climatique, l'épuisement des ressources ou l'acidification des sols)

La réalisation d'une ACV est encadrée par des normes européennes mais l'application de ces normes est spécifique à chaque pays. Notamment, la norme EN 15804 préconise l'utilisation des indicateurs de base (7 indicateurs 'CEN') qui peuvent être complétés par d'autres indicateurs optionnels (Indicateurs 'CEN+'). Voir documentation sur totem-building.be).

Etant donné l'impact environnemental du secteur de la construction, l'utilisation des ACV est amenée à se développer. La demande de réalisation de l'ACV d'un bâtiment dépend de la volonté du Maître d'Ouvrage et de la législation.

Par exemple, aux Pays-Bas, il est actuellement obligatoire de prévoir dans chaque nouvelle demande de permis de bâtir un calcul ACV indiquant l'impact environnemental des matériaux à utiliser dans l'ouvrage.

En France, le label E+C- (Bâtiments à Énergie Positive et Réduction Carbone 2020) prend en compte les consommations énergétiques du bâtiment (chapitre 'E+') sur la base de la RT2012) mais intègre aussi les émissions de CO₂ des énergies et des matériaux (Chapitre 'C-'). Ce label est volontaire pour l'instant mais il permet de tester le label et d'évaluer les niveaux d'exigences qui seront intégrés dans la réglementation RE2020.

En Belgique, l'outil TOTEM (totem-building.be) a été lancé en 2018. Il permet de réaliser en ligne et gratuitement l'ACV de bâtiments à partir des données environnementales génériques de matériaux Eco-Invent. La base de données belge B-EPD sera connectée à TOTEM lorsque le nombre de fiche matériaux sera significatif. L'ACV de bâtiment se fait sur base volontaire.

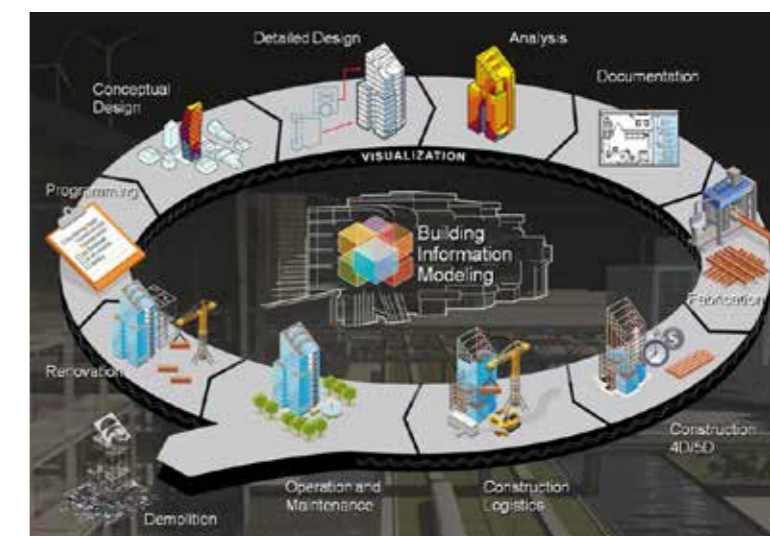
Dans le cadre de certifications environnementales des bâtiments du type BREEAM, LEED ou HQE, la réalisation de l'ACV permet de gagner des points supplémentaires.

BIM – Maquette numérique

BIM signifie Building Information Management, autrement dit la gestion et l'échange d'informations. BIM signifie aussi Building Information Model (maquette numérique du bâtiment). Cette maquette numérique est une représentation virtuelle d'un ouvrage qui intègre non seulement des vues géométriques en 3 dimensions mais aussi des informations sur les produits et systèmes (CSTC 2017).

Ces outils et méthodes de management sont en plein développement, l'Europe encourage leur utilisation dans les marchés publics (Journal officiel de l'Union européenne 2014, Article 22.4) et ces outils peuvent devenir obligatoires pour répondre à certains marchés publics.

Une bibliothèque de parois type en paille est disponible sur le site du RFCP : <http://go.rfcp.fr/BIM>.



6. RÉALISATION

Phasage de chantier

La paille étant une production saisonnière, les questions de stockage et de fourniture doivent être validées avec le fournisseur. Ces questions peuvent faire partie d'un contrat de fourniture.

Les techniques de préfabrication permettent de s'affranchir des aléas climatiques. Si les bottes sont placées in situ, les périodes les plus sèches seront favorisées pour réduire les risques d'exposition à la pluie.

En cas de réalisation d'enduits à l'argile in situ, la pose sera privilégiée au printemps ou au début de l'été pour disposer d'un temps de séchage suffisamment long.

Réception de la paille

Si la paille est posée in situ, la qualité des bottes devra être validée à la réception sur chantier. Une procédure qualité a été rédigée dans le cadre d'UP STRAW et est disponible sur le site du RBfCP.

Pour les techniques de préfabrication, le fournisseur est responsable de la qualité des bottes et de leur pose en atelier. La procédure peut donc être utilisée en atelier mais aussi à la réception des panneaux sur le chantier.

La paille livrée sur chantier devrait être stockée à l'abri de la pluie et de l'humidité dans un lieu ventilé pour éviter tout risque de condensation.

Protection des ouvrages

Pour assurer la propreté et la sécurité du chantier, les débris de paille doivent être évacués quotidiennement en dehors du chantier.

La coordination des entreprises doit être assurée pour éviter toutes reprises sur les murs extérieurs qui pourraient compromettre l'intégrité du mur ou altérer les finitions.

La protection des ouvrages à la pluie doit être assurée jusqu'à la complétude des ouvrages de finitions (bardages, enduits, toitures).

Une attention particulière doit être apportée aux descentes d'eau pluviales provisoires. Plusieurs cas de pathologies ont été remarquées pour les constructions paille parce que les descentes d'eau provisoires (en attendant les finitions et donc les descentes définitives) n'étaient que partiellement ou pas efficaces.

7. ADDENDUM BELGE AUX RÈGLES FRANÇAISES CP2012

Spécificités belges relatives au contenu des règles CP2012

Le contexte réglementaire de la France et de la Belgique étant différent, certaines considérations des règles françaises CP2012 ne s'appliquent pas de la même manière en Belgique. Le tableau ci-dessous présente ces différences qui sont issues d'un travail de relecture des règles CP2012 par le Cluster Eco-construction et des Architectes wallons ayant livré des bâtiments publics en paille.

Chapitre	Commentaires
Introduction pe14	<p>« Contexte : Evolution réglementaire E+C- »</p> <p>Le label français E+C- préfigure la future réglementation environnementale RE2020 qui remplacera la réglementation thermique RT 2012 en intégrant l'impact CO2 du bâtiment et de ses matériaux</p> <p>La PEB n'intègre pas l'impact environnemental des matériaux mais l'analyse de cycle de vie des bâtiments peut être réalisée de manière volontaire sur TOTEM</p> <p>https://www.totem-building.be/</p>
Responsabilité pe 15	<p>C'est essentiellement la responsabilité du concepteur. En cas de défaut, la justice se base sur l'état de l'Art -> L'architecte porte la responsabilité. Les règles CP 2012 peuvent servir de document de référence en Belgique.</p>
1.2 Domaine d'application	<p>FR : Bâtiments dont le plancher bas du dernier niveau est à moins de 8 m du sol</p> <p>BE : 10 m selon l'Arrêté royal du 7 juillet 1994 fixant les normes de base en matière de prévention contre l'incendie et l'explosion, auxquelles les bâtiments nouveaux doivent satisfaire (MB 26.04.1995). Modifié par les Arrêtés Royaux du 19.12.1997, 04.04.2003, 13.06.2007, 01.03.2009 et 12.07.2012</p> <p>L'actualisation est faite sur : https://www.normes.be (partie Antenne Normes Prévention du feu)</p> <p>Retour d'expérience construction paille avec enduits intérieurs à l'argile – réglementation incendie bâtiments publics :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ecole Notre Dame de Bon Secours (Binche 2017) : L'ISIB a validé un test allemand REI 95 minutes pour 60 minutes car la composition du mur différait légèrement de la composition de mur testé dans le test allemand. • Préhistomuséum (Flémalle 2016) : Le préventionniste a considéré que les épaisseurs d'enduits à l'argile permettaient de justifier la résistance au feu et n'a pas demandé de tests supplémentaires.
1.2	<p>FR : Classe d'exposition EA EB</p> <p>BE : voir CSTC infofiche 11 « Classes de climat intérieur ». Faire étude détaillée pour d'autres types de locaux. Voir 3.4.1.</p> <p>https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=search&id=CSTC71094</p>
2.2 Types de paille	<p>FR : Les fournisseurs de bottes de paille pour la construction doivent respecter le cahier des charges présenté en annexe A1</p> <p>BE : Cette annexe peut être utilisée en BE, elle est retranscrite sous la forme d'une procédure qualité disponible sur rbfcp.be – Chapitres « ressources »</p>
2.5.1 Dimensions	<p>FR : La plus grande partie des tiges de paille est orientée dans le même sens</p> <p>BE : Cet exigence est peu réaliste. Si les tiges semblent orientées vu de l'extérieur de la botte, elles ont souvent une orientation quelconque au sein de la botte.</p>

2.5.4 Masse volumique	FR : La masse volumique est contrôlée selon la procédure décrite en annexe A1 BE : Cette annexe peut être utilisée en BE, elle est retranscrite sous la forme d'une procédure qualité disponible sur rbfcp.be – Chapitres « ressources »
3.1.3 Conditions climatiques	La carte des localisations des villes situées au nord de la France peut être extrapolée à la Belgique pour les villes belges les plus proches de la frontière. Les enduits sont à éviter sur les orientations ouest (https://energieplus-lesite.be/theories/climat8/pluies-d3/)
3.1.5.2	La résistance au choc des enduits est évoquée dans le NIT 257 « Enduits sur isolation extérieure (ETICS) »
3.3.2 Gestion de l'étanchéité à l'air – Contexte normatif	BE : Pas d'obligation de réalisation de tests d'étanchéité à l'air dans le cadre de la PEB. L'étanchéité est prise en compte dans le niveau Ew qui se calcule, entre autres, à l'aide de la perméabilité de l'enveloppe (V50). https://energie.wallonie.be/fr/08-03-debit-de-fuite-par-unite-de-surface-v50.html?IDC_PEB=9491&IDD=113678&IDC=9095 La norme EN 13779 peut cependant s'appliquer en définissant l'étanchéité à l'air d'un bâtiment par la faculté à limiter le taux global de renouvellement de l'air intérieur à une valeur inférieure à 1 ou 2 h-1 suivant que le bâtiment est haut ou bas. https://energie.wallonie.be/fr/l-etancheite-a-l-air.html?IDC=9475&IDD=97700 Il est possible d'utiliser le résultat d'une mesure de l'étanchéité à l'air dans la détermination du niveau EW. https://energie.wallonie.be/fr/etancheite-a-l-air.html?IDC=8824&IDD=112019
3.3.6 Etanchéité à l'air des interfaces	Il s'agit de bonnes pratiques. Des informations complémentaires sont disponibles dans la NIT 255, 120 p., 2015/11/00. Cette Note d'information technique décrit les principes qu'il est recommandé de suivre en vue de construire des bâtiments dotés d'une bonne étanchéité à l'air, en traitant point par point les aspects suivants : - Les données de base utiles à la détermination de l'étanchéité à l'air - L'expression de l'étanchéité à l'air et exigences imposées au bâtiment - La conception d'un bâtiment étanche à l'air et la coordination de l'exécution - Les produits et matériaux assurant l'étanchéité à l'air - Le traitement des détails constructifs - L'évaluation des performances d'étanchéité à l'air d'un bâtiment - L'entretien du bâtiment et l'impact potentiel des occupants. La norme NBN EN 12114 est utilisée pour définir les niveaux d'étanchéité de parois. Pas d'exigence en Belgique mais les valeurs de 0.1m ³ /h/m ² sont utilisées pour que les performances soient pertinentes pour des maisons à hautes performances.
3.4.1 Gestion de la vapeur d'eau et de l'hygrométrie	FR : [...] classement concernant une exposition à l'eau des parois de type EA, EB, EB+ privatifs sont susceptibles d'être isolés en paille BE : CSTC infofiche 11 : Classes de climat intérieur
3.4.3 Parois perméables à la vapeur d'eau	BE : sd int > 6-15 Sd ext. Chapitre 6.3.3.2 Etanchéité à la vapeur d'eau de la STS 23-1 https://economie.fgov.be/sites/default/files/Files/Publications/files/STS/STS-23-1-Ossature-bois.pdf
3.4.5 Toitures-terrasses isolées en bottes de paille	La NIT 215 déconseille la toiture ventilée où le vide ventilé sépare l'isolant de l'étanchéité. Le schéma de CP2012 présente cependant un parement étanche à l'eau et perméable à la vapeur qui protège l'isolant. https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=search&id=CSTC55977 L'article « Les toitures compactes, une nouvelle tendance ? 2012/02.06 » donne des recommandations pour la conception des toitures. https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bri-contact&pag=Contact34&art=520

3.6 Gestion des soubassements et des liaisons entre étages	Les détails de liaisons doivent permettre de traiter les questions d'étanchéité et de ponts thermiques. Les exemples de CP2012 sont valides. D'autres exemples, non spécifiques à la construction en paille sont disponibles sur la Base de données Détails constructifs du CSTC. https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=services&sub=standards_regulations&pag=details&art=database Le présent cahier technique propose des exemples de détails d'exécution conformes à la PEB.
3.6.5.1 Garde au sol côté extérieur	Les spécifications techniques STS 23-1 précisent qu'il est indispensable de poser la lisse de nivellement à au moins 20 cm du niveau du sol. En cas d'application d'un ETICS (NIT 257), il est recommandé de placer cette lisse à 30 cm minimum au-dessus du sol et d'aménager une zone de gravillons d'au moins 30 cm de large en périphérie du bâtiment. https://www.cstc.be/homepage/download.cfm?lang=fr&dtype=publ&doc=cstc_arton-line_2018_3_no6_etics_sur_constructions_a_ossature_en_bois_raccord_en_pied_de_mur.pdf
4.1.5 contrôle des bottes	La procédure CP2012 est utilisable en Belgique et a été adaptée dans le cadre du projet européen UP STRAW. Elle est retranscrite sous la forme d'une procédure qualité disponible sur rbfcp.be , chapitre « ressources »
4.3.1 Ponts thermiques	Plusieurs options permettent de prendre en compte les nœuds constructifs dans le contexte de la réglementation PEB (options A, B et C). La description détaillée de ces options dépasse l'objet de l'article : https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bri-contact&pag=Contact45&art=677 Des exemples de nœuds constructifs compatibles avec la PEB sont proposés dans le présent document.
5.1.4 Surfaces horizontales ou de faibles-pentes exposées à l'eau et aux intempéries	NIT 188, 55 p., 1993/06/00 : Les pierres de taille doivent présenter une pente transversale minimale de 5 %. Faute de recommandations pour les autres matériaux, les indications CP 2012 peuvent être suivies.
Chap 6.1 pe 121	« La hauteur enduite est interrompue tous les 8 m maximum ». Plusieurs raisons à cette exigence : • La réglementation incendie française change au-delà du dernier plancher à plus de 8 m • Pas d'expérience d'enduits continus au-delà de cette hauteur • Il faut pouvoir rejeter régulièrement l'eau qui peut avoir tendance à s'accumuler dans l'enduit en bas de mur BE : Dans le cas de bâtiment d'hauteur moyenne (entre 10 et 25 m) et l'utilisation de composants (isolation par exemple) combustible, une interruption (« barrière coupe-feu ») est requise • Court webinaire présentant les points principaux https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=search&id=REF00012248 • Article court sur le sujet (voir page 10 et 11) https://www.cstc.be/homepage/download.cfm?lang=fr&dtype=bricontact&doc=Contact_fr_03_2020.pdf • Article long (12 pages) https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=search&id=REF00012433

Exemples de détails d'exécution compatibles avec la PEB

Disclaimer

Droits d'auteur :

Les droits d'auteur s'appliquent à l'ensemble du contenu de cette publication (y compris les logos, dessins, tableaux, diagrammes, textes, images, photographies, données, noms de produits ou d'entreprises) et à toutes les initiatives de l'asbl BAS Bouwen. L'utilisation et l'application du contenu de cette publication impliquent l'acceptation tacite des conditions d'utilisation énoncées ci-dessous.

Tous les droits restent réservés à l'asbl BAS Bouwen. En tant qu'utilisateur, vous reconnaissez expressément que les informations et données fournies par l'asbl BAS Bouwen sont et restent la propriété de l'asbl BAS Bouwen et vous vous engagez à ne pas y apporter de modifications. Les copies, adaptations, traductions, adaptations, modifications de tout ou partie de cette publication sous quelque forme ou par quelque moyen que ce soit - électronique, mécanique ou autre - sont strictement interdites. L'utilisateur de cette publication n'est pas autorisé à distribuer, stocker électroniquement ou reproduire le contenu de cette publication à des fins commerciales ou à le mettre à la disposition de tiers sous quelque forme que ce soit moyennant une rémunération. L'utilisation de (l'information provenant de) cette publication à des fins non commerciales n'est possible qu'avec l'accord écrit préalable de l'asbl BAS Bouwen et du RFCP.

Conditions d'utilisation :

L'asbl BAS Bouwen ne peut en aucun cas être tenue responsable des dommages résultant de, ou liés à, cette publication ou à son contenu.

Bien que tous les efforts aient été faits pour assurer l'exhaustivité, l'exactitude, la compréhensibilité, la précision, l'actualité, le développement et la compilation des informations contenues dans cette publication, l'asbl BAS Bouwen ne peut être tenue responsable de toute erreur ou omission dans la publication. L'asbl BAS Bouwen ne donne aucune garantie ou représentation quant à l'actualité, l'exactitude ou l'exhaustivité des informations fournies dans la publication.

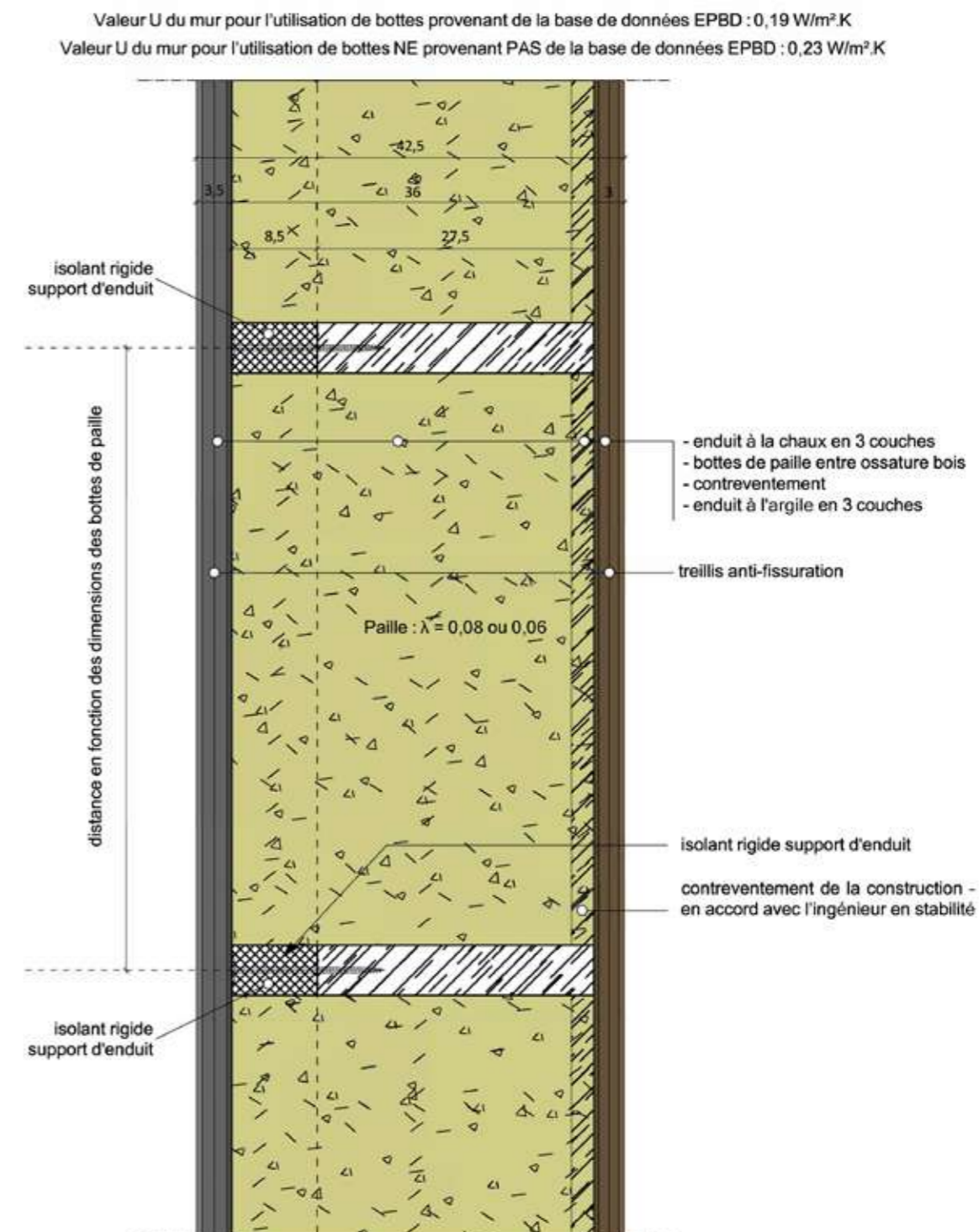
L'asbl BAS Bouwen, ses mandataires et ses collaborateurs externes, déclinent toute responsabilité pour les dommages de toute nature résultant d'actions ou de décisions fondées sur le contenu de cette publication et tout ce qui en découle.

L'asbl BAS Bouwen conseille expressément au lecteur de ce livre de ne pas utiliser les informations fournies par ou au nom de l'asbl BAS Bouwen de manière isolée, mais de toujours se baser sur ses propres connaissances et expériences professionnelles, sur les directives nationales et internationales applicables ainsi qu'à valider les informations avant de les utiliser. Dans la mesure du nécessaire, l'ASBL BAS Bouwen souligne qu'elle n'assume aucune responsabilité pour les décisions prises sur la base des données ou des ressources mises à disposition par cette publication sans autre examen.

Le lecteur s'interdit tout recours et toute réclamation à l'encontre de BAS Bouwen asbl pour des informations de tiers repris par BAS Bouwen asbl dans les publications fournies par BAS Bouwen asbl et tout autre produit informatif.

La limitation de responsabilité et tous les litiges et réclamations découlant de l'utilisation de cette publication sont régis par le droit belge.

Mur en bottes de paille avec enduits : Détail 01



Fondations – Mur en bottes de paille avec enduits

Nœud constructif conforme à la PEB :

Les nœuds acceptés par la PEB sont des nœuds linéaires dont les détails sont conformes aux règles de base imposées et qui ne provoquent aucune perte de chaleur non autorisée. Ce sont des nœuds constructifs faiblement déperditifs.

Le présent détail de construction est conforme à la règle de base 2 : Nœuds de construction où les couches d'isolation ne se connectent pas (ne peuvent pas se connecter) directement entre elles, mais où il est possible d'y interposer des pièces isolantes.

Valeur U des éléments structurels :

- ▶ Valeur U du sol :
 - Isolation : $\lambda_{ui} = 0,040 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ \Rightarrow valeur U du sol = $0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$
- ▶ Valeur U de la paroi :
 - Botte de paille : $\lambda_{ui} = 0,060 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ \Rightarrow Valeur U de la paroi = $0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - Botte de paille : $\lambda_{ui} = 0,080 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ \Rightarrow Valeur U de la paroi = $0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$

Exigence de la valeur λ : $\lambda_{partie\ isolante} \leq 0,2 \text{ W/mK}$

- ▶ Isolation du sol : $\lambda_{ui} = 0,040 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Béton cellulaire : $\lambda_{ui} = 0,125 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Verre cellulaire : $\lambda_{ui} = 0,036 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Bois de construction : $\lambda_{ui} = 0,130 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Isolation rigide à enduire : $\lambda_{ui} = 0,040 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Bottes de paille : $\lambda_{ui} = 0,080$ ou $0,060 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$

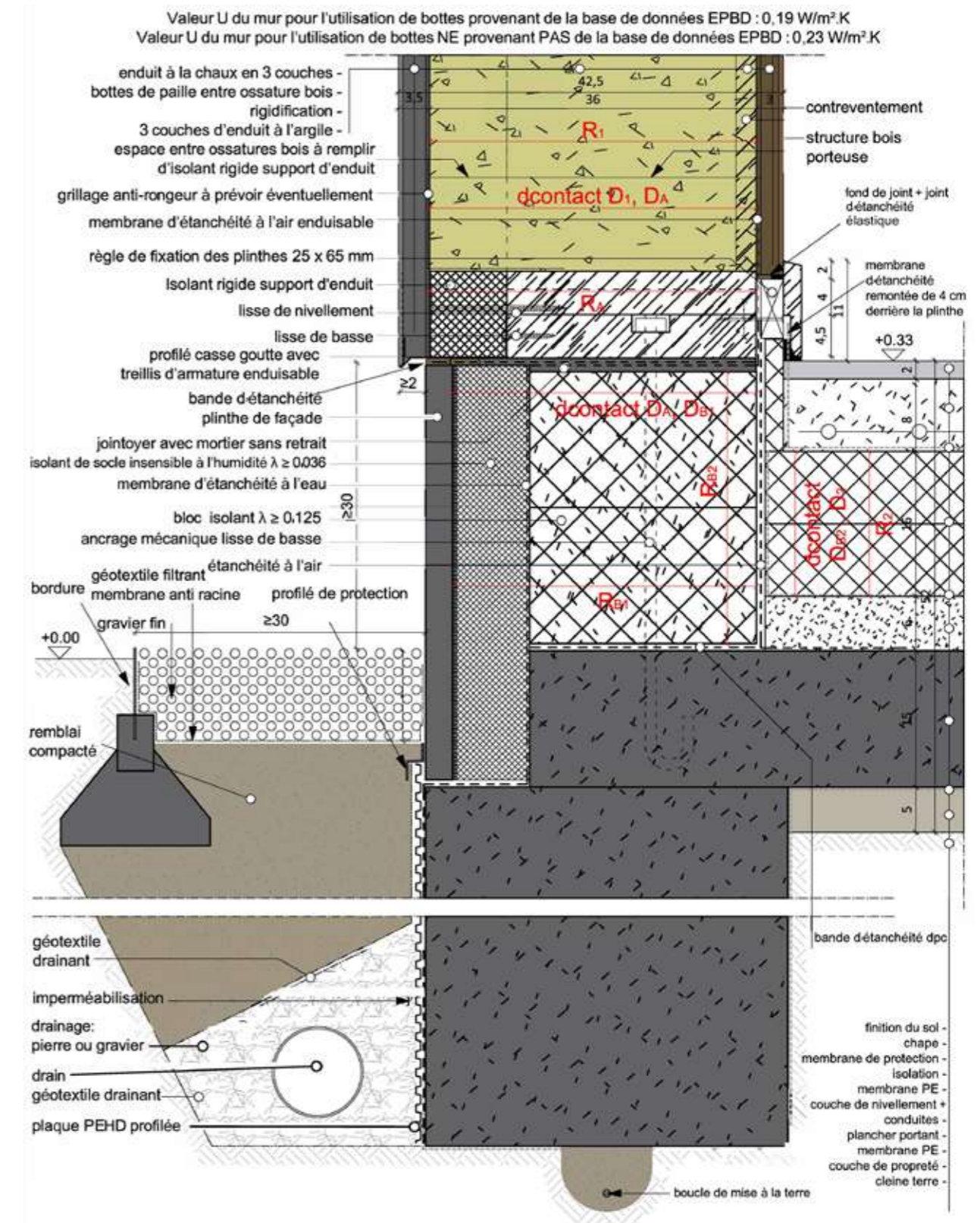
Exigence pour la valeur R : $R \geq \min (R_1/2, R_2/2, 2)$

- ▶ R_1 Mur en bottes de paille = $6,00 \text{ m}^2\text{K/W}$
 $\rightarrow R_1 > 2 \rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_A Bois de construction+ isolation rigide = $4,24 \text{ m}^2\text{K/W}$ - couche d'isolation composite (*1)
 $\rightarrow R_A > 2 \rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_{B1} Béton cellulaire + verre cellulaire = $4,22 \text{ m}^2\text{K/W}$ - couche d'isolation composite (*1)
 $\rightarrow R_{B1} > 2 \rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_{B2} Béton cellulaire = $2,40 \text{ m}^2\text{K/W}$ - le R_{B2} ne traverse que le béton cellulaire (*2)
 $\rightarrow R_{B2} > 2 \rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_2 Isolation du sol = $4,00 \text{ m}^2\text{K/W}$
 $\rightarrow R_2 = 2 \rightarrow \text{ok}$

Longueur de contact requise : $d_{contact,i} \geq \min (d_{partie\ isolante}/2, dx/2)$

- ▶ $d_{contact\ D1, D_A} = 36 \text{ cm} \rightarrow \text{ok}$
- ▶ $d_{contact\ D_A, D_{B1}} = 33,5 \text{ cm} \rightarrow \text{ok}$
- ▶ $d_{contact\ D_{B2}, D_2} = 16 \text{ cm} \rightarrow \text{ok}$

Détail 02



Fondations – Mur en bottes de paille avec enduits – Porte extérieure

Nœud constructif conforme à la PEB :

Les nœuds acceptés par la PEB sont des nœuds linéaires dont les détails sont conformes aux règles de base imposées et qui ne provoquent aucune perte de chaleur non autorisée. Ce sont des nœuds constructifs faiblement déperditifs.

Le présent détail de construction est conforme à la règle de base 2 : Nœuds de construction où les couches d'isolation ne se connectent pas (ne peuvent pas se connecter) directement entre elles, mais où il est possible d'y interposer des pièces isolantes.

Valeur U des éléments structurels :

- ▶ Valeur U du sol :
- ▶ Isolation : $\lambda_{ui} = 0,040 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ \Rightarrow valeur U du sol = $0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$
- ▶ Valeur U de la paroi :
- ▶ Botte de paille : $\lambda_{ui} = 0,060 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ \Rightarrow Valeur U de la paroi = $0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$
- ▶ Botte de paille : $\lambda_{ui} = 0,080 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ \Rightarrow Valeur U de la paroi = $0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$

Exigence de la valeur λ : $\lambda_{partie\ isolante} \leq 0.2 \text{ W/mK}$

- ▶ Isolation du sol : $\lambda_{ui} = 0,040 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Béton cellulaire : $\lambda_{ui} = 0,125 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Verre cellulaire : $\lambda_{ui} = 0,036 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$

Valeur R requise : $R \geq \min (R1/2, R2/2, 1,5)$

- ▶ R_1 Isolation du sol = $4,00 \text{ m}^2\text{K/W} \rightarrow R_1 > 2 \rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_{A1} Béton cellulaire + verre cellulaire = $3,02 \text{ m}^2\text{K/W} \rightarrow R_{A1} > 1,5 \rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_{A2} Béton cellulaire = $1,84 \text{ m}^2\text{K/W} \rightarrow R_{A2} > 1,5 \rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_B Seuil de porte en verre cellulaire = $1,67 \text{ m}^2\text{K/W} \rightarrow R_B > 1,5 \rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_2 Porte = $1,18 \text{ m}^2\text{K/W}$ (U_d fenêtre = $0,85 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Longueur de contact requise : $d_{contact,i} \geq \min (d_{partie\ isolante} / 2, dx / 2)$

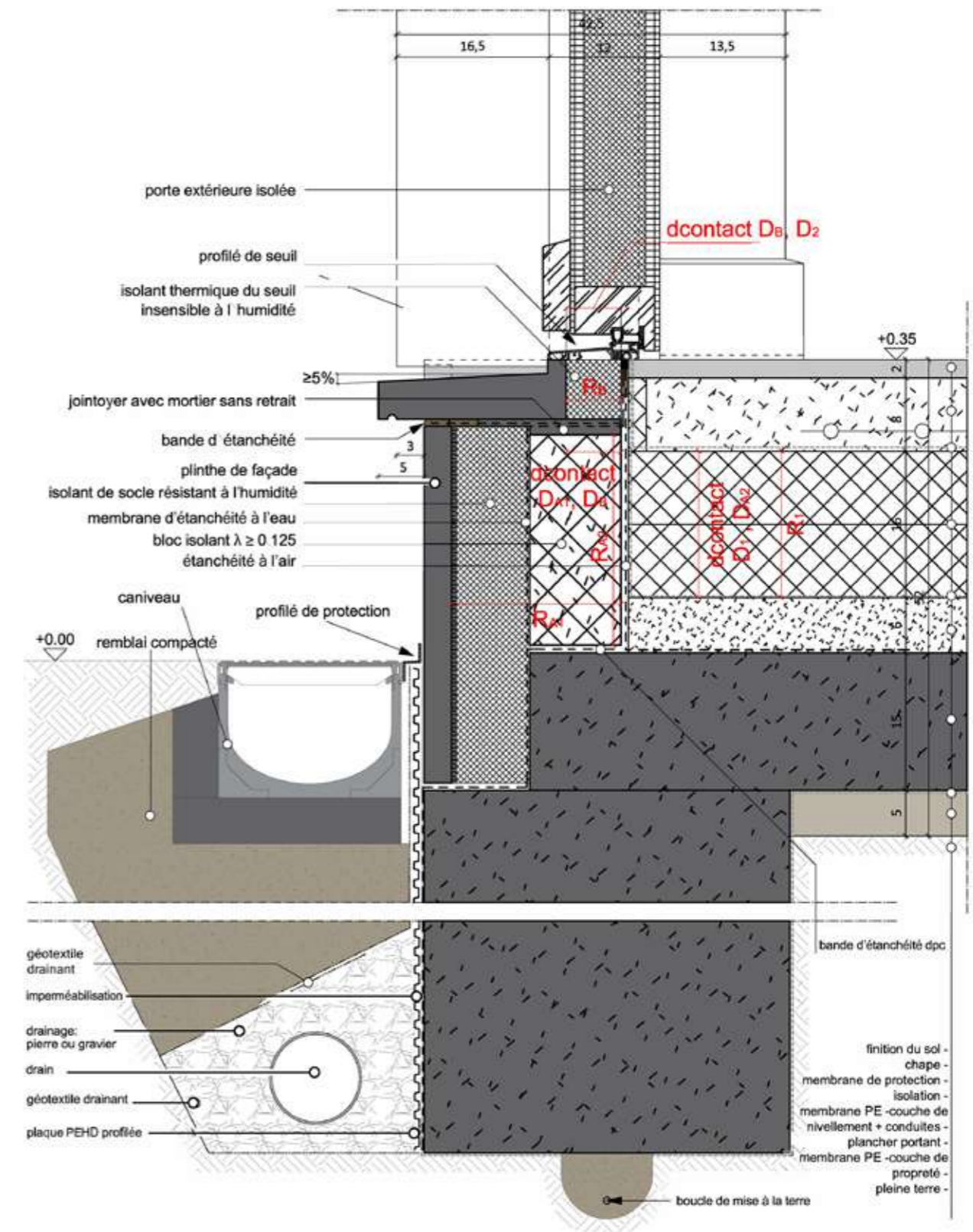
- ▶ $d_{contact\ D1, D_{A2}} = 16 \text{ cm} \rightarrow \text{ok}$
- ▶ $d_{contact\ D_{A1}, D_B} = 6 \text{ cm} \rightarrow \text{ok}$
- ▶ $d_{contact\ D_B, D_2} = 6 \text{ cm} \rightarrow \text{ok}$ - longueur de contact cadre fixe menuiserie extérieure

Exigence de longueur de contact pour les fenêtres et les portes

Si une pièce isolante est reliée à un profilé de fenêtre ou de porte sans rupteur thermique, dx est égal à l'épaisseur du cadre fixe du profilé de fenêtre ou de porte, mesurée perpendiculairement à la surface du verre.

Si une pièce isolante est reliée à un profilé de fenêtre ou de porte avec rupteur de pont thermique, seule la pièce isolante doit être en contact direct avec le rupteur de pont thermique sur toute la largeur du rupteur de pont thermique.

Détail 03



Mur en bottes de paille avec enduits – Raccordement supérieur porte extérieure

Nœud constructif conforme à la PEB :

Les nœuds acceptés par la PEB sont des nœuds linéaires dont les détails sont conformes aux règles de base imposées et qui ne provoquent aucune perte de chaleur non autorisée. Ce sont des nœuds constructifs faiblement déperditifs.

Le présent détail de construction est conforme à la règle de base 2 : Nœuds de construction où les couches d'isolation ne se connectent pas (ne peuvent pas se connecter) directement entre elles, mais où il est possible d'y interposer des pièces isolantes.

Valeur U des éléments structurels :

- ▶ Valeur U de la paroi :
- ▶ Botte de paille : $\lambda_{ui} = 0,060 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}) \Rightarrow$ Valeur U de la paroi = $0,19 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$
- ▶ Botte de paille : $\lambda_{ui} = 0,080 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}) \Rightarrow$ Valeur U de la paroi = $0,23 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$

Exigence de la valeur λ : $\lambda_{\text{partie isolante}} \leq 0.2 \text{ W}/\text{mK}$

- ▶ Isolant de socle résistant à l'humidité : $\lambda_{ui} = 0,043 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
- ▶ Bois de construction : $\lambda_{ui} = 0,130 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
- ▶ Isolation rigide à enduire : $\lambda_{ui} = 0,040 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
- ▶ Bottes de paille : $\lambda_{ui} = 0,080$ ou $0,060 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

Valeur R requise : $R \geq \min (R1/2, R2/2, 1,5)$

- ▶ R_1 Mur en bottes de paille = $6,00 \text{ m}^2\text{K}/\text{W} \Rightarrow R_1 > 2 \Rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_{A1} Bois de construction + isolation rigide = $4,24 \text{ m}^2\text{K}/\text{W} \Rightarrow R_{A1} > 1,5 \Rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_{A2} Isolation rigide + Isolant = $8,52 \text{ m}^2\text{K}/\text{W} \Rightarrow R_{A2} > 1,5 \Rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_{A3} Isolation rigide + Isolant + bois = $5,87 \text{ m}^2\text{K}/\text{W} \Rightarrow R_{A3} > 1,5 \Rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_2 Porte = $1,18 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ (Ud fenêtre = $0,85 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$)

Longueur de contact requise : $d_{\text{contact},i} \geq \min (d_{\text{partie isolante}} / 2, dx / 2)$

- ▶ $d_{\text{contact}} D_1, D_{A1} = 36 \text{ cm} \Rightarrow \text{ok}$
- ▶ $d_{\text{contact}} D_{A1}, D_{A2} = 36 \text{ cm} \Rightarrow \text{ok}$
- ▶ $d_{\text{contact}} D_{A2}, D_{A3} = 36 \text{ cm} \Rightarrow \text{ok}$
- ▶ $d_{\text{contact}} D_{A3}, D_2 =$ Le rupteur de pont thermique du cadre est en contact direct avec la partie isolante $D_{A3} \Rightarrow \text{ok}$

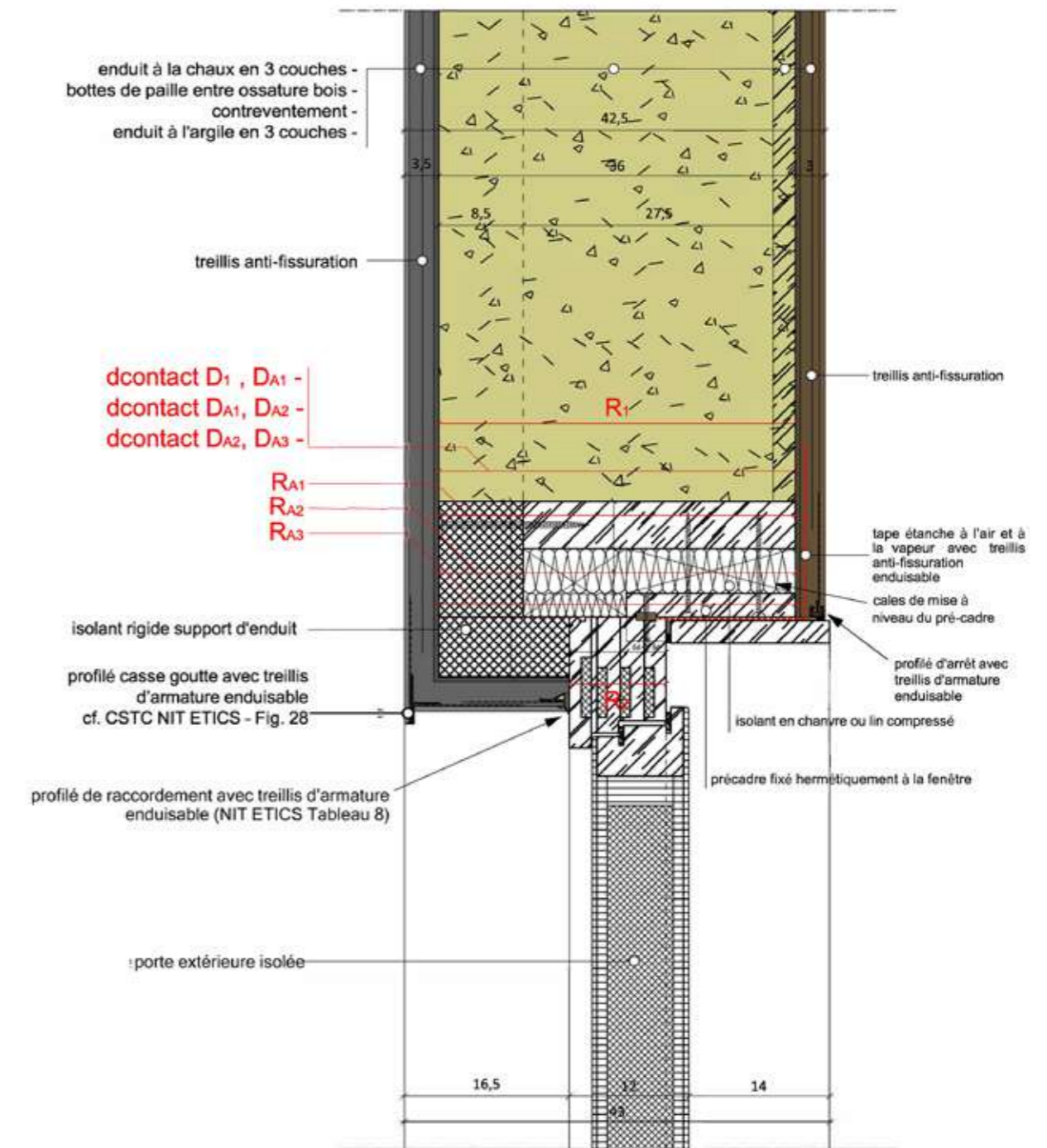
Exigence de longueur de contact pour les fenêtres et les portes

Si une pièce isolante est reliée à un profilé de fenêtre ou de porte sans rupteur thermique, dx est égal à l'épaisseur du cadre fixe du profilé de fenêtre ou de porte, mesurée perpendiculairement à la surface du verre.

Si une pièce isolante est reliée à un profilé de fenêtre ou de porte avec rupteur de pont thermique, seule la pièce isolante doit être en contact direct avec le rupteur de pont thermique sur toute la largeur du rupteur de pont thermique.

Détail 04

Valeur U du mur pour l'utilisation de bottes provenant de la base de données EPBD : $0,19 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$
 Valeur U du mur pour l'utilisation de bottes NE provenant PAS de la base de données EPBD : $0,23 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$



Mur en bottes de paille avec enduits – Fenêtre extérieure (coupe)

Nœud constructif conforme à la PEB:

Les nœuds acceptés par la PEB sont des nœuds linéaires dont les détails sont conformes aux règles de base imposées et qui ne provoquent aucune perte de chaleur non autorisée. Ce sont des nœuds constructifs faiblement déperditifs.

Le présent détail de construction est conforme à la règle de base 2 : Nœuds de construction où les couches d'isolation ne se connectent pas (ne peuvent pas se connecter) directement entre elles, mais où il est possible d'y interposer des pièces isolantes.

Valeur U des éléments structurels :

- ▶ Valeur U de la paroi :
 - Botte de paille : $\lambda_{ui} = 0,060 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}) \Rightarrow \text{Valeur U de la paroi} = 0,19 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$
 - Botte de paille : $\lambda_{ui} = 0,080 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}) \Rightarrow \text{Valeur U de la paroi} = 0,23 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$

Exigence de la valeur λ : $\lambda_{partie\ isolante} \leq 0.2 \text{ W}/\text{mK}$

- ▶ Isolant de socle résistant à l'humidité : $\lambda_{ui} = 0,043 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
- ▶ Bois de construction : $\lambda_{ui} = 0,130 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
- ▶ Isolation rigide à enduire : $\lambda_{ui} = 0,040 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
- ▶ Bottes de paille : $\lambda_{ui} = 0,080$ ou $0,060 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

Valeur R requise : $R \geq \min (R1/2, R2/2, 1,5)$

- ▶ R_1 Mur en bottes de paille = $6,00 \text{ m}^2\text{K}/\text{W} \rightarrow R_1 > 2 \rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_{A1} Bois de construction + isolation rigide = $4,24 \text{ m}^2\text{K}/\text{W} \rightarrow R_{A1} > 1,5 \rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_{A2} Isolant = $5,81 \text{ m}^2\text{K}/\text{W} \rightarrow R_{A2} > 1,5 \rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_{A3} Isolant + bois = $2,86 \text{ m}^2\text{K}/\text{W} \rightarrow R_{A3} > 1,5 \rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_2 Fenêtre = $1,18 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ (U_d fenêtre = $0,85 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$)

Longueur de contact requise : $d_{contact,i} \geq \min (d_{partie\ isolante} / 2, dx / 2)$

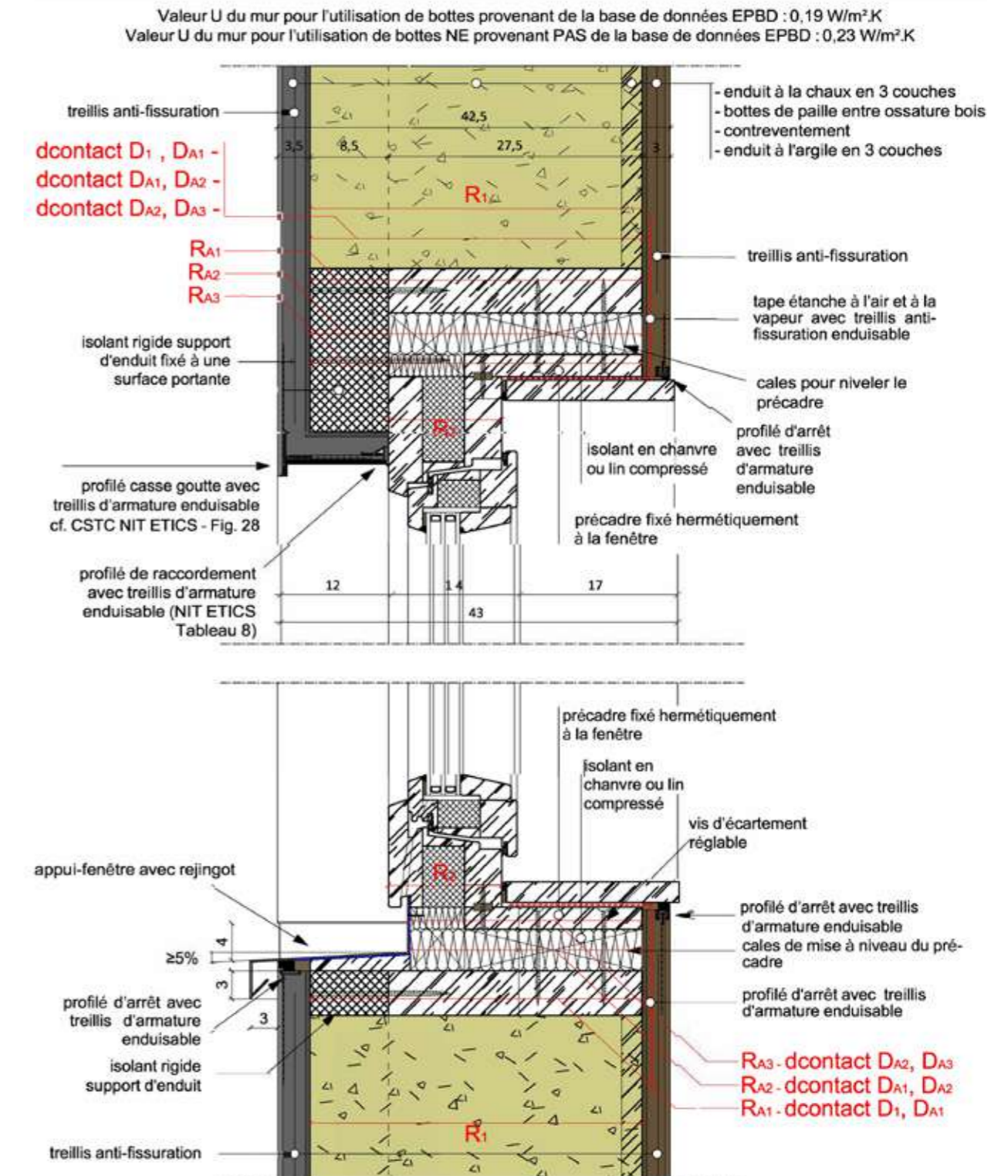
- ▶ $d_{contact\ D1, DA1} = 36 \text{ cm} \rightarrow \text{ok}$
- ▶ $d_{contact\ DA1, DA2} = 25 \text{ cm} \rightarrow \text{ok}$
- ▶ $d_{contact\ DA2, DA3} = 25 \text{ cm} \rightarrow \text{ok}$
- ▶ $d_{contact\ DA3, D2}$ = Le rupteur de pont thermique du cadre est en contact direct avec la partie isolante $DA3 \rightarrow \text{ok}$

Exigence de longueur de contact pour les fenêtres et les portes

Si une pièce isolante est reliée à un profilé de fenêtre ou de porte sans rupteur thermique, dx est égal à l'épaisseur du cadre fixe du profilé de fenêtre ou de porte, mesurée perpendiculairement à la surface du verre.

Si une pièce isolante est reliée à un profilé de fenêtre ou de porte avec rupteur de pont thermique, seule la pièce isolante doit être en contact direct avec le rupteur de pont thermique sur toute la largeur du rupteur de pont thermique.

Détail 05



Mur en bottes de paille avec enduits – Fenêtre extérieure (plan)

Nœud constructif conforme à la PEB :

Les nœuds acceptés par la PEB sont des nœuds linéaires dont les détails sont conformes aux règles de base imposées et qui ne provoquent aucune perte de chaleur non autorisée. Ce sont des nœuds constructifs faiblement déperditifs.

Le présent détail de construction est conforme à la règle de base 2 : Nœuds de construction où les couches d'isolation ne se connectent pas (ne peuvent pas se connecter) directement entre elles, mais où il est possible d'y interposer des pièces isolantes.

Valeur U des éléments structurels :

- ▶ Valeur U de la paroi :
- ▶ Botte de paille : $\lambda_{ui} = 0,060 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ \Rightarrow Valeur U de la paroi = $0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$
- ▶ Botte de paille : $\lambda_{ui} = 0,080 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ \Rightarrow Valeur U de la paroi = $0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$

Exigence de la valeur λ : $\lambda_{partie\ isolante} \leq 0.2 \text{ W/mK}$

- ▶ Isolant de socle résistant à l'humidité : $\lambda_{ui} = 0,043 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Bois de construction : $\lambda_{ui} = 0,130 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Isolation rigide à enduire : $\lambda_{ui} = 0,040 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Bottes de paille : $\lambda_{ui} = 0,080$ ou $0,060 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$

Valeur R requise : $R \geq \min (R1/2, R2/2, 1,5)$

- ▶ R_1 Mur en bottes de paille = $6,00 \text{ m}^2\text{K/W}$ $\rightarrow R_1 > 2 \rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_{A1} Bois de construction + isolation rigide = $4,24 \text{ m}^2\text{K/W}$ $\rightarrow R_{A1} > 1,5 \rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_{A2} Isolation rigide + Isolant = $8,52 \text{ m}^2\text{K/W}$ $\rightarrow R_{A2} > 1,5 \rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_{A3} Isolation rigide + Isolant + bois = $5,52 \text{ m}^2\text{K/W}$ $\rightarrow R_{A3} > 1,5 \rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_2 Fenêtre = $1,18 \text{ m}^2\text{K/W}$ (U_d fenêtre = $0,85 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Longueur de contact requise : $d_{contact,i} \geq \min (d_{partie\ isolante} / 2, dx / 2)$

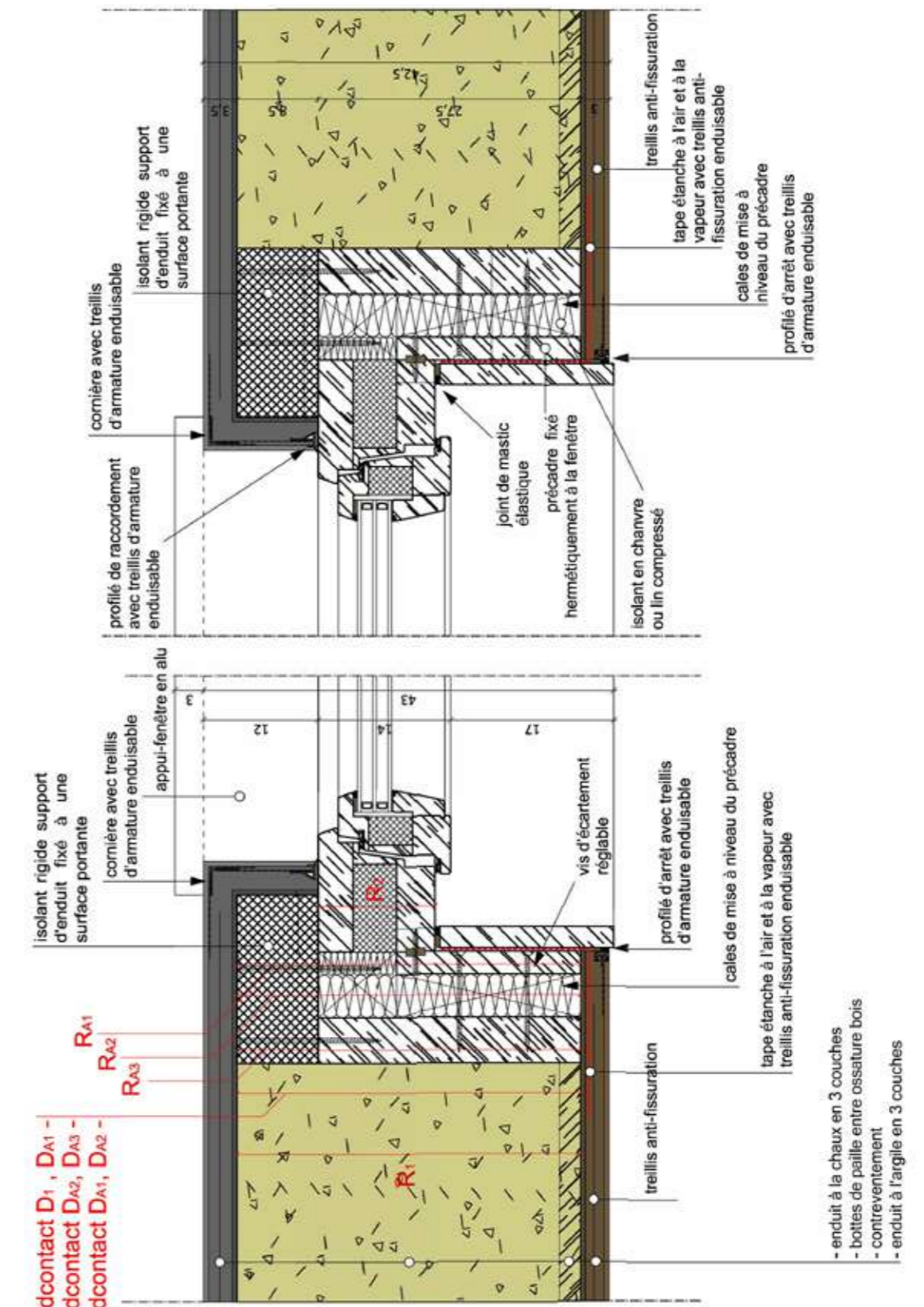
- ▶ $d_{contact\ D1, D_{A1}} = 36 \text{ cm} \rightarrow \text{ok}$
- ▶ $d_{contact\ D_{A1}, D_{A2}} = 36 \text{ cm} \rightarrow \text{ok}$
- ▶ $d_{contact\ D_{A2}, D_{A3}} = 36 \text{ cm} \rightarrow \text{ok}$
- ▶ $d_{contact\ D_{A3}, D_2}$ = Le rupteur de pont thermique du cadre est en contact direct avec la partie isolante $D_{A3} \rightarrow \text{ok}$

Exigence de longueur de contact pour les fenêtres et les portes

Si une pièce isolante est reliée à un profilé de fenêtre ou de porte sans rupteur thermique, dx est égal à l'épaisseur du cadre fixe du profilé de fenêtre ou de porte, mesurée perpendiculairement à la surface du verre.

Si une pièce isolante est reliée à un profilé de fenêtre ou de porte avec rupteur de pont thermique, seule la pièce isolante doit être en contact direct avec le rupteur de pont thermique sur toute la largeur du rupteur de pont thermique.

Détail 06



Mur en bottes de paille avec enduits – Toiture en pente

Nœud constructif conforme à la PEB :

Les nœuds acceptés par la PEB sont des nœuds linéaires dont les détails sont conformes aux règles de base imposées et qui ne provoquent aucune perte de chaleur non autorisée. Ce sont des nœuds constructifs faiblement déperditifs.

Le présent détail de construction est conforme à la règle de base 2 : Nœuds de construction où les couches d'isolation ne se connectent pas (ne peuvent pas se connecter) directement entre elles, mais où il est possible d'y interposer des pièces isolantes.

Valeur U des éléments structurels :

- ▶ **Valeur U de la paroi :**
 - Botte de paille : $\lambda_{ui} = 0,060 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ → Valeur U de la paroi = $0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - Botte de paille : $\lambda_{ui} = 0,080 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ → Valeur U de la paroi = $0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$
- ▶ **Valeur U du toit :**
 - Botte de paille : $\lambda_{ui} = 0,060 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ → Valeur U de la paroi = $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - Botte de paille : $\lambda_{ui} = 0,080 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ → Valeur U de la paroi = $0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$

Exigence de la valeur λ : $\lambda_{partie\ isolante} \leq 0,2 \text{ W/mK}$

- ▶ Isolant de socle résistant à l'humidité : $\lambda_{ui} = 0,043 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Bois de construction : $\lambda_{ui} = 0,130 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Isolation rigide à enduire : $\lambda_{ui} = 0,040 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Bottes de paille : $\lambda_{ui} 0,080$ ou $0,060 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Panneaux de fibres de bois : $\lambda_{ui} = 0,048 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Placage étanche à la vapeur : $\lambda_{ui} = 0,13 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$

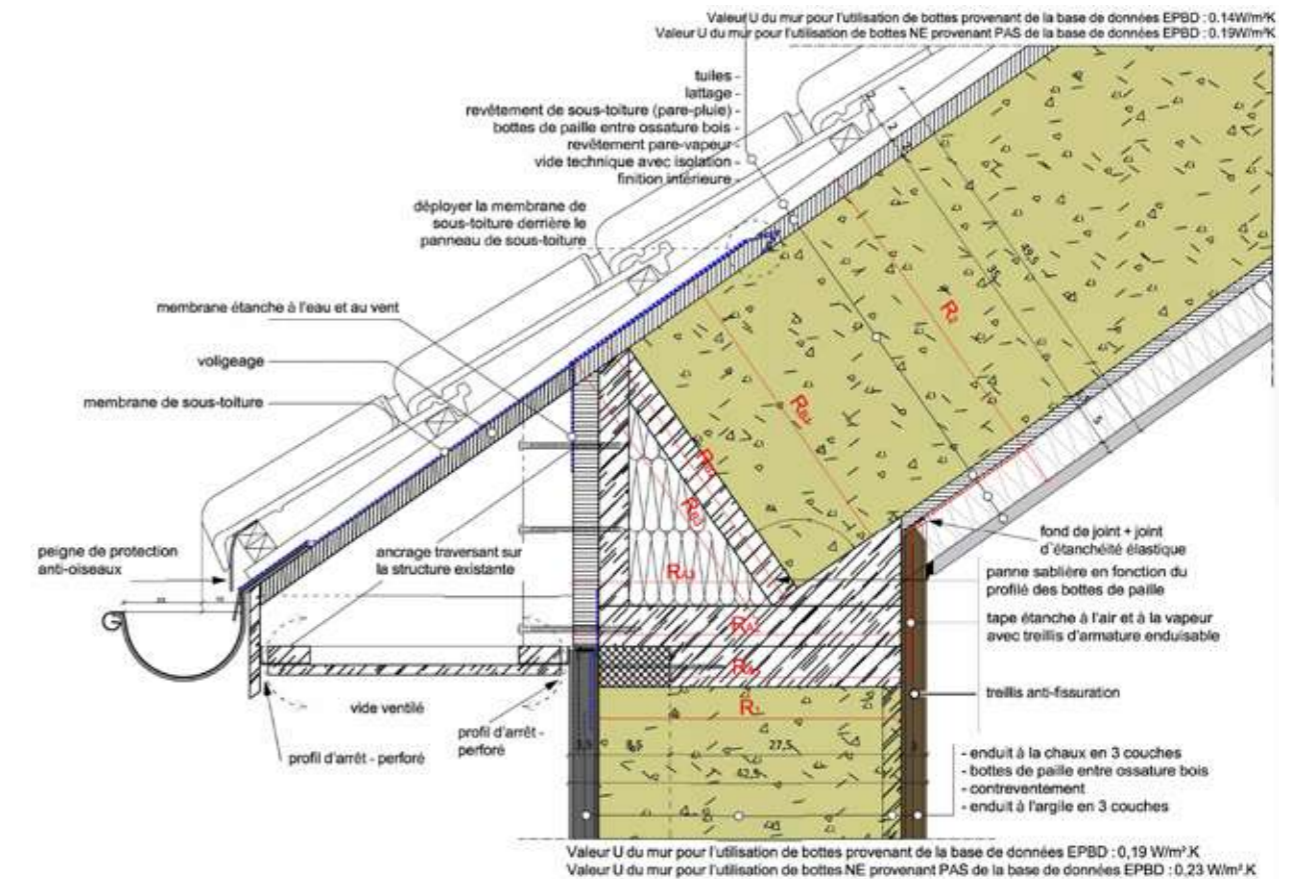
Valeur R requise : $R \geq \min (R1/2, R2/2, 1,5)$

- ▶ R_1 Mur en bottes de paille = $6,00 \text{ m}^2\text{K/W}$ → $R1 > 2$ → ok
- ▶ R_{A1} Bois de construction + isolation rigide = $4,24 \text{ m}^2\text{K/W}$ → $RA1 > 2$ → ok
- ▶ R_{A2} Bois de construction + Fibre de bois = $3,23 \text{ m}^2\text{K/W}$ → $RA2 > 2$ → ok
- ▶ R_{A3} Isolant + Bois de construction + Fibre de bois = $4,69 \text{ m}^2\text{K/W}$ → $RA3 > 2$ → ok
- ▶ R_{B3} Isolant + Bois de construction + Fibre de bois = $7,82 \text{ m}^2\text{K/W}$ → $RB3 > 2$ → ok
- ▶ R_{B2} Bois de construction + Fibre de bois = $3,23 \text{ m}^2\text{K/W}$ → $RB2 > 2$ → ok
- ▶ R_{B1} Toit en paille + fibre de bois = $6,46 \text{ m}^2\text{K/W}$ → $RB1 > 2$ → ok
- ▶ R_2 Toit en paille + Fibre de bois + Bâche + Isolant = $7,74 \text{ m}^2\text{K/W}$ → $R2 > 2$ → ok

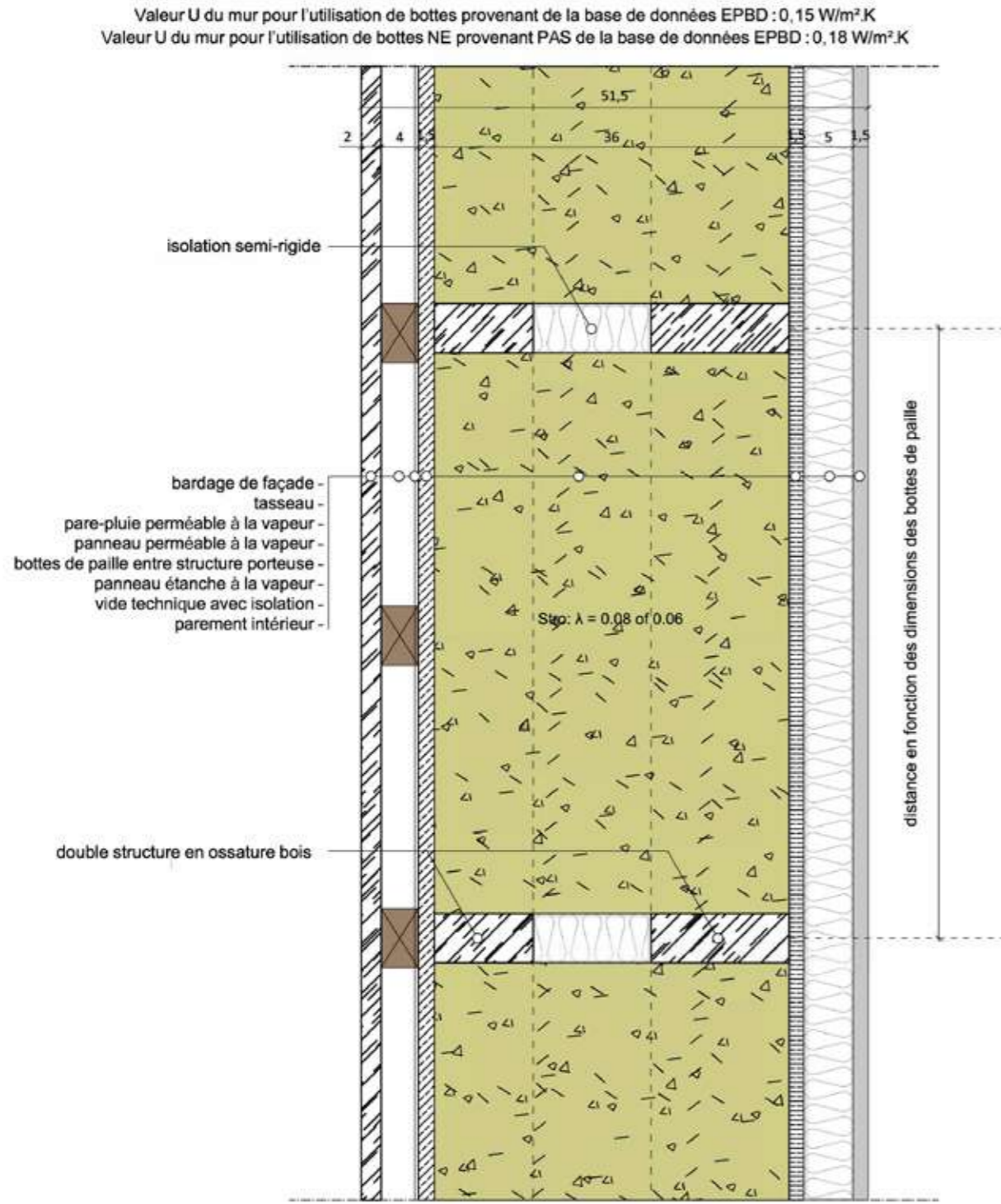
Longueur de contact requise : $d_{contact,i} \geq \min (d_{partie\ isolante} / 2, dx / 2)$

- ▶ $d_{contact\ D1, D_{A1}} = 36 \text{ cm}$ → ok
- ▶ $d_{contact\ D_{A1}, D_{A2}} = 36 \text{ cm}$ → ok
- ▶ $d_{contact\ A2, D_{A3}} = 24 \text{ cm}$ → ok
- ▶ $d_{contact\ D_{A3}, D_{B3}} = 24 \text{ cm}$ → ok
- ▶ $d_{contact\ D_{B3}, D_{B2}} = 37 \text{ cm}$ → ok
- ▶ $d_{contact\ D_{B2}, D_{B1}} = 37 \text{ cm}$ → ok
- ▶ $d_{contact\ D_{B1}, D_2} = 37 \text{ cm}$ → ok

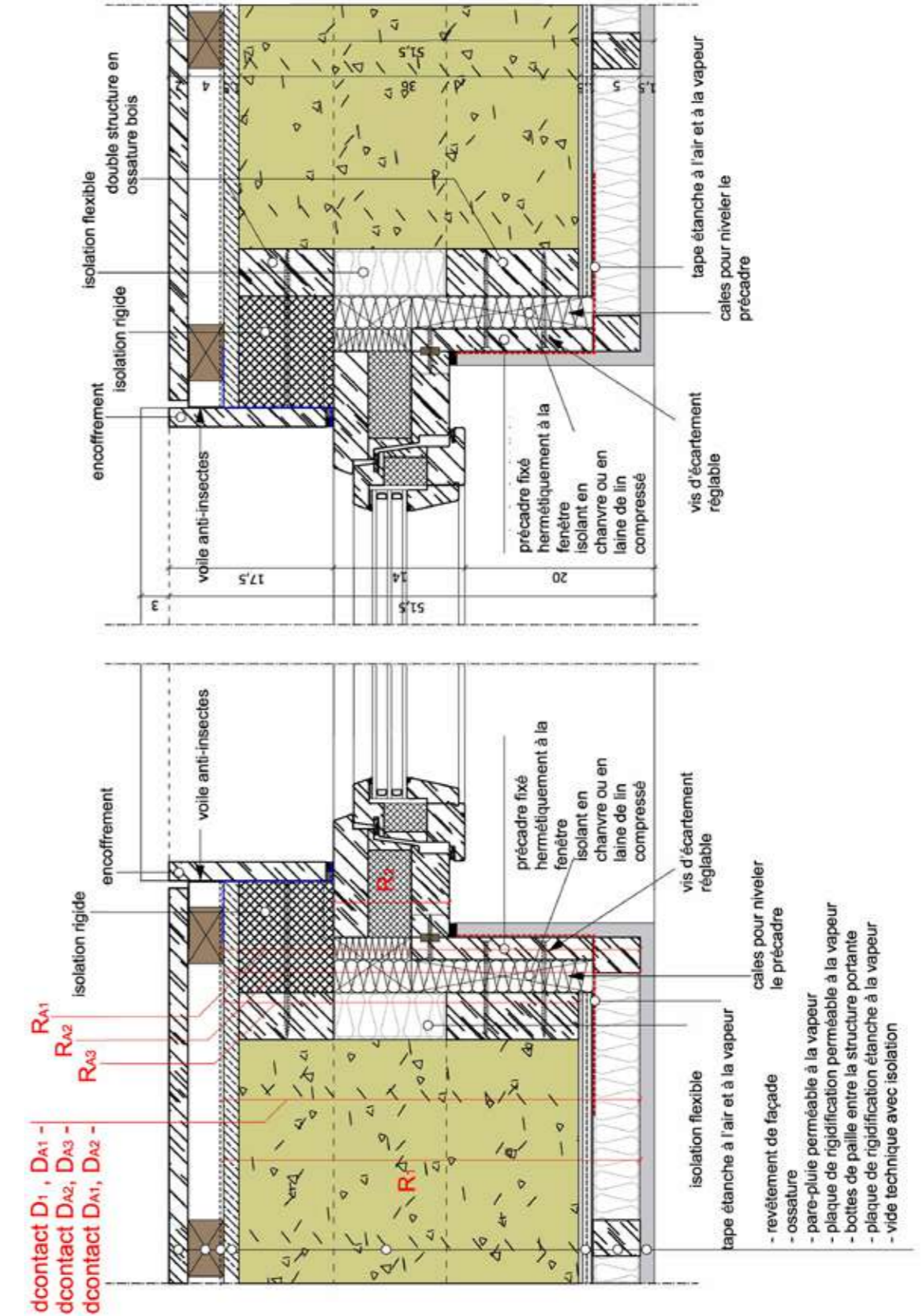
Détail 07



Mur en bottes de paille avec bardage extérieur : Détail 08



Fenêtre extérieure (plan) : Détail 09



Mur en bottes de paille avec bardage extérieur – Fenêtre extérieure (coupe)

Nœud conforme à la PEB :

Les nœuds acceptés par la PEB sont des nœuds linéaires dont les détails sont conformes aux règles de base imposées et qui ne provoquent aucune perte de chaleur non autorisée. Ce sont des nœuds constructifs faiblement déperditifs.

Le présent détail de construction est conforme à la règle de base 2 : Nœuds de construction où les couches d'isolation ne se connectent pas (ne peuvent pas se connecter) directement entre elles, mais où il est possible d'y interposer des pièces isolantes.

Éléments structurels de valeur U :

► Mur de la valeur U :

- Botte de paille : $\lambda_{ui} = 0,060 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ → Valeur U de la paroi = $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Botte de paille : $\lambda_{ui} = 0,060 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ → Valeur U de la paroi = $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$

Exigence de la valeur λ : λ partie isolée $\leq 0,2 \text{ W/mK}$

- Panneau étanche à la vapeur : $\lambda_{ui} = 0,13 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- Plaque de construction perméable à la vapeur : $\lambda_{ui} = 0,090 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- Isolant de socle résistant à l'humidité : $\lambda_{ui} = 0,043 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- Bois de construction : $\lambda_{ui} = 0,130 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- Bottes de paille : $\lambda_{ui} = 0,080$ ou $0,060 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- Isolation rigide à enduire : $\lambda_{ui} = 0,040 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$

Valeur R requise : $R \geq \min (R1/2, R2/2, 1,5)$

- R_1 Paroi de Botte de paille de paille + Plaques + Cavité technique = $7,46 \text{ m}^2\text{K/W}$ → $R1 > 2$ → ok
- R_{A1} Bois de construction + Isolant + Plaques + Cavité technique = $6,09 \text{ m}^2\text{K/W}$ → $RA1 > 1,5$ → ok
- R_{A2} Isolation rigide + Isolant + Cavité technique = $10,24 \text{ m}^2\text{K/W}$ → $RA2 > 1,5$ → ok
- R_{A3} Isolation rigide + Isolant + Bois + Cavité technique = $7,23 \text{ m}^2\text{K/W}$ → $RA3 > 1,5$ → ok
- R_2 Fenêtre = $1,18 \text{ m}^2\text{K/W}$ (fenêtre $U_d = 0,85 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Longueur de contact requise : $d_{\text{contact},i} \geq \min (d_{\text{partie isolée}}/2, dx/2)$

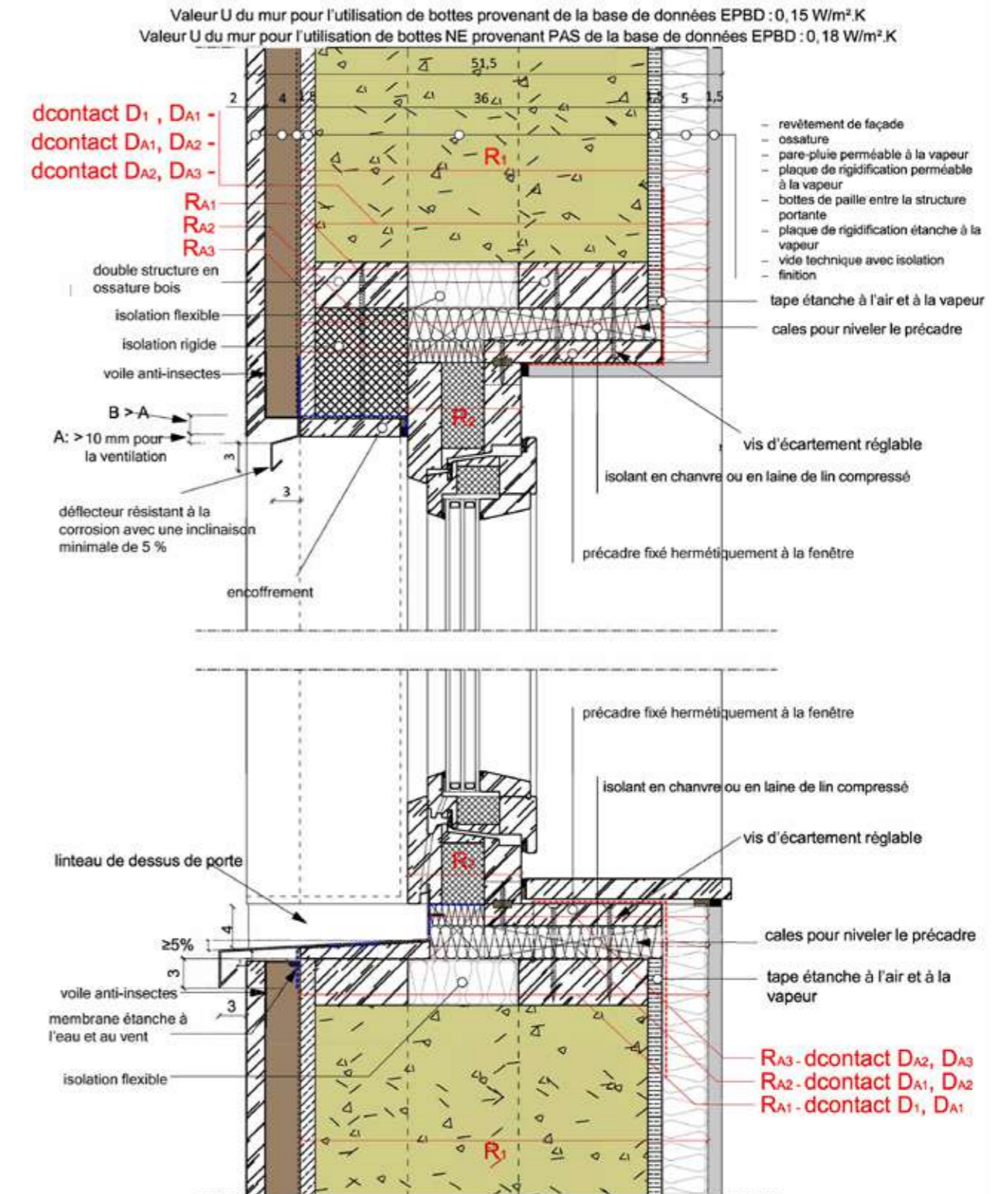
- $d_{\text{contact}} D_1, D_{A1} = 44 \text{ cm}$ → ok
- $d_{\text{contact}} D_{A1}, D_{A2} = 44 \text{ cm}$ → ok
- $d_{\text{contact}} D_{A2}, D_{A3} = 44 \text{ cm}$ → ok
- $d_{\text{contact}} D_{A3}, D_2$ = Le rupteur de pont thermique du cadre est en contact direct avec la partie isolée D_{A3} → ok

Exigence de longueur de contact pour les fenêtres et les portes

Si une pièce isolante est reliée à un profilé de fenêtre ou de porte sans rupture thermique, dx est égal à l'épaisseur du cadre fixe du profilé de fenêtre ou de porte, mesuré perpendiculairement à la surface du verre.

Si une pièce isolante est reliée à un profilé de fenêtre ou de porte avec coupure thermique, seule la pièce isolante doit être en contact direct avec la coupure thermique sur toute la largeur de la coupure thermique.

Détail 10



Fondations - Mur en bottes de paille avec bardage extérieur

Nœud conforme à la PEB :

Les nœuds acceptés par la PEB sont des nœuds linéaires dont les détails sont conformes aux règles de base imposées et qui ne provoquent aucune perte de chaleur non autorisée. Ce sont des nœuds constructifs faiblement déperditifs.

Le présent détail de construction est conforme à la règle de base 2 : Nœuds de construction où les couches d'isolation ne se connectent pas (ne peuvent pas se connecter) directement entre elles, mais où il est possible d'y interposer des pièces isolantes.

Éléments structurels de valeur U :

- ▶ Valeur U dU du plancher =
 - o Isolation : $\lambda_{ui} = 0,030 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ \Rightarrow Valeur U du plancher = $0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - o Valeur U de la paroi : $0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$
- ▶ Botte de paille : $\lambda_{ui} = 0,060 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ \Rightarrow Valeur U de la paroi = $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$
- ▶ Botte de paille : $\lambda_{ui} = 0,060 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ \Rightarrow Valeur U de la paroi = $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$

Exigence de valeur λ : λ partie isolée $\leq 0,2 \text{ W/mK}$

- ▶ Panneau étanche à la vapeur : $\lambda_{ui} = 0,13 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Isolant de socle résistant à l'humidité : $u_i = 0,043 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Panneau de construction perméable à la vapeur : $u_i = 0,090 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Isolation du sol : $\lambda_{ui} = 0,030 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Béton cellulaire : $\lambda_{ui} = 0,125 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Verre cellulaire : $\lambda_{ui} = 0,036 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Bois de construction : $\lambda_{ui} = 0,130 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Bottes de paille : $\lambda_{ui} = 0,080$ ou $0,060 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$

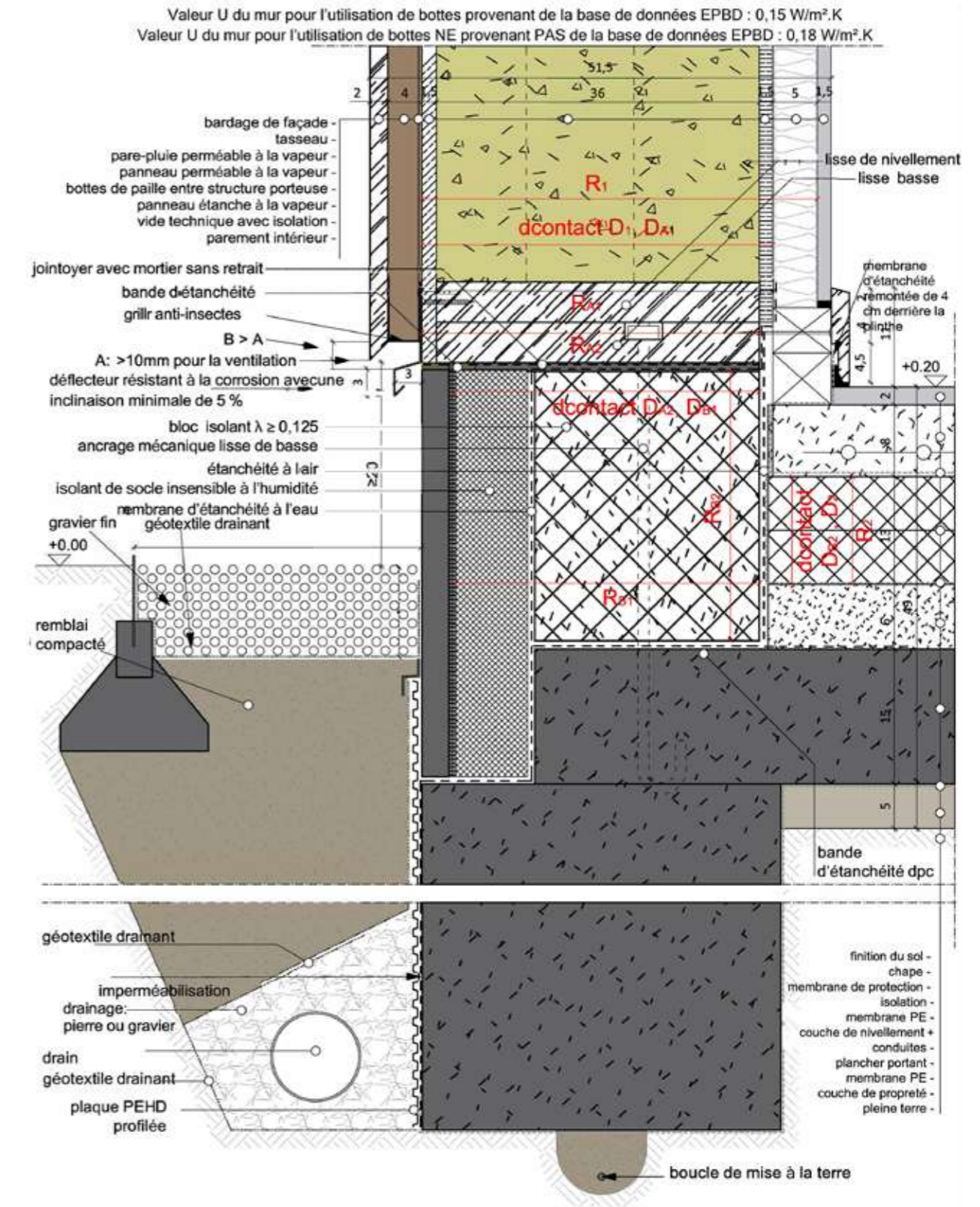
Exigence de la valeur R : $R \geq \min (R1/2, R2/2, 2)$

- ▶ R_1 Paroi en Bottes de paille + plaques + cavité technique = $7,46 \text{ m}^2\text{K/W}$ $\rightarrow R1 > 2 \rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_{A1} Bois de construction + 2 feuilles = $3,06 \text{ m}^2\text{K/W}$ $\rightarrow RA1 > 2 \rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_{A2} Bois de construction + 1 plaque = $2,95 \text{ m}^2\text{K/W}$ $\rightarrow RA2 > 2 \rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_{B1} Béton cellulaire + verre cellulaire = $4,22 \text{ m}^2\text{K/W}$ $\rightarrow RB1 > 2 \rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_{B2} Béton cellulaire = $2,40 \text{ m}^2\text{K/W}$ $\rightarrow RB2 > 2 \rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_2 Isolation du sol = $4,00 \text{ m}^2\text{K/W}$
- ▶ R_2 Isolation du sol = $4,00 \text{ m}^2\text{K/W}$

Longueur de contact requise : $d_{\text{contact},i} \geq \min (d_{\text{partie isolée}}/2, dx/2)$

- ▶ $d_{\text{contact}} D_1, DA_1 = 39 \text{ cm} \rightarrow \text{ok}$
- ▶ $d_{\text{contact}} DA_1, DA_2 = 37,5 \text{ cm} \rightarrow \text{ok}$
- ▶ $d_{\text{contact}} DA_2, DB_1 = 33,8 \text{ cm} \rightarrow \text{ok}$
- ▶ $d_{\text{contact}} DB_2, D_2 = 12 \text{ cm} \rightarrow \text{ok}$

Détail 11



Fondations - Mur en bottes de paille avec bardage extérieur – Porte extérieure

Détail 00C1 - Nœud conforme à la PEB :

Les nœuds acceptés par la PEB sont des nœuds linéaires dont les détails sont conformes aux règles de base imposées et qui ne provoquent aucune perte de chaleur non autorisée. Ce sont des nœuds constructifs faiblement déperditifs.

Le présent détail de construction est conforme à la règle de base 2 : Nœuds de construction où les couches d'isolation ne se connectent pas (ne peuvent pas se connecter) directement entre elles, mais où il est possible d'y interposer des pièces isolantes.

Éléments structurels de valeur U :

- ▶ Valeur U du plancher =
 - o Isolation : $\lambda_{ui} = 0,030 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ → Valeur U du plancher = $0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - o Valeur U de la paroi : $0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$
- ▶ Botte de paille : $\lambda_{ui} = 0,060 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ → Valeur U de la paroi = $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$
- ▶ Botte de paille : $\lambda_{ui} = 0,060 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ → Valeur U de la paroi = $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$

Exigence de valeur λ : λ partie isolée $\leq 0,2 \text{ W/mK}$

- ▶ Isolation du sol : $\lambda_{ui} = 0,030 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Béton cellulaire : $\lambda_{ui} = 0,125 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Verre cellulaire : $\lambda_{ui} = 0,036 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$

Valeur R requise : $R \geq \min (R1/2, R2/2, 1,5)$

- ▶ R1 Isolation du sol = $4,00 \text{ m}^2\text{K/W}$
→ $R1 > 2$ → ok
- ▶ RA1 Béton cellulaire + verre cellulaire = $2,94 \text{ m}^2\text{K/W}$
→ $RA1 > 1,5$ → ok
- ▶ RA2 Béton cellulaire = $1,64 \text{ m}^2\text{K/W}$
→ $RA2 > 1,5$ → ok
- ▶ RB Seuil de porte en verre cellulaire = $1,67 \text{ m}^2\text{K/W}$
→ $RB > 1,5$ → ok
- ▶ R2 Porte = $1,18 \text{ m}^2\text{K/W}$ (fenêtre Ud = $0,85 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Longueur de contact requise : $d_{\text{contact},i} \geq \min (d_{\text{partie isolée}}/2, dx/2)$

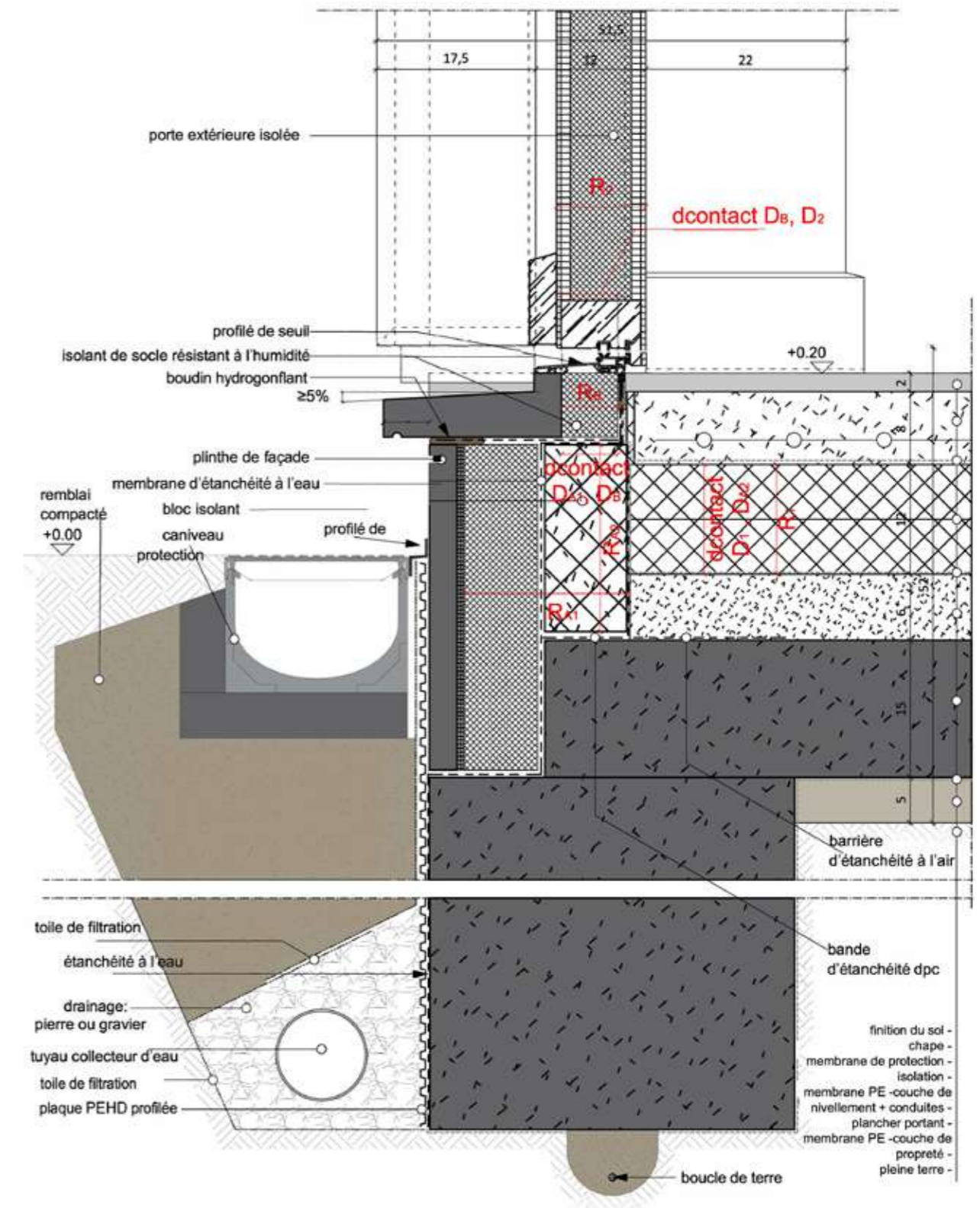
- ▶ $d_{\text{contact}} D1, DA2 = 12 \text{ cm}$ → ok
- ▶ $d_{\text{contact}} DA1, DB = 6 \text{ cm}$ → ok
- ▶ $d_{\text{contact}} DB, D2 = 6 \text{ cm}$ → ok - longueur de contact cadre fixe menuiserie extérieure

Exigence de longueur de contact pour les fenêtres et les portes

Si une pièce isolante est reliée à un profilé de fenêtre ou de porte sans rupture thermique, dx est égal à l'épaisseur du cadre fixe du profilé de fenêtre ou de porte, mesuré perpendiculairement à la surface du verre.

Si une pièce isolante est reliée à un profilé de fenêtre ou de porte avec coupure thermique, seule la pièce isolante doit être en contact direct avec la coupure thermique sur toute la largeur de la coupure thermique.

Détail 12



Mur en bottes de paille avec bardage extérieur – Raccordement supérieur porte extérieure

Nœud conforme à la PEB :

Les nœuds acceptés par la PEB sont des nœuds linéaires dont les détails sont conformes aux règles de base imposées et qui ne provoquent aucune perte de chaleur non autorisée. Ce sont des nœuds constructifs faiblement déperditifs.

Le présent détail de construction est conforme à la règle de base 2 : Nœuds de construction où les couches d'isolation ne se connectent pas (ne peuvent pas se connecter) directement entre elles, mais où il est possible d'y interposer des pièces isolantes.

Éléments structurels de valeur U :

- ▶ Mur de la valeur U :
 - o Botte de paille : $\lambda_{ui} = 0,060 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ \Rightarrow Valeur U de la paroi = $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - o Botte de paille : $\lambda_{ui} = 0,060 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ \Rightarrow Valeur U de la paroi = $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$

Exigence de valeur λ : λ partie isolée $\leq 0,2 \text{ W/mK}$

- ▶ Panneau étanche à la vapeur : $\lambda_{ui} = 0,13 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Panneau de construction perméable à la vapeur : $\lambda_{ui} = 0,090 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Isolant de socle résistant à l'humidité : $\lambda_{ui} = 0,043 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Bois de construction : $\lambda_{ui} = 0,130 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Bottes de paille : $\lambda_{ui} = 0,080$ ou $0,060 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Isolation rigide à enduire : $\lambda_{ui} = 0,040 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$

Valeur R requise : $R \geq \min (R1/2, R2/2, 1,5)$

- ▶ R_1 Paroi en Bottes de paille + Plaques + Cavité technique = $7,46 \text{ m}^2\text{K/W} \rightarrow R1 > 2 \rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_{A1} Bois de construction + Isolant + Plaques + Cavité technique = $6,09 \text{ m}^2\text{K/W} \rightarrow RA1 > 1,5 \rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_{A2} Isolation rigide + Isolant + Cavité technique = $10,24 \text{ m}^2\text{K/W} \rightarrow RA2 > 1,5 \rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_{A3} Isolation rigide + Isolant + Bois + Cavité technique = $6,91 \text{ m}^2\text{K/W} \rightarrow RA3 > 1,5 \rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_2 Porte = $1,18 \text{ m}^2\text{K/W}$ (fenêtre $U_d = 0,85 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Longueur de contact requise : $d_{\text{contact},i} \geq \min (d_{\text{partie isolée}}/2, dx/2)$

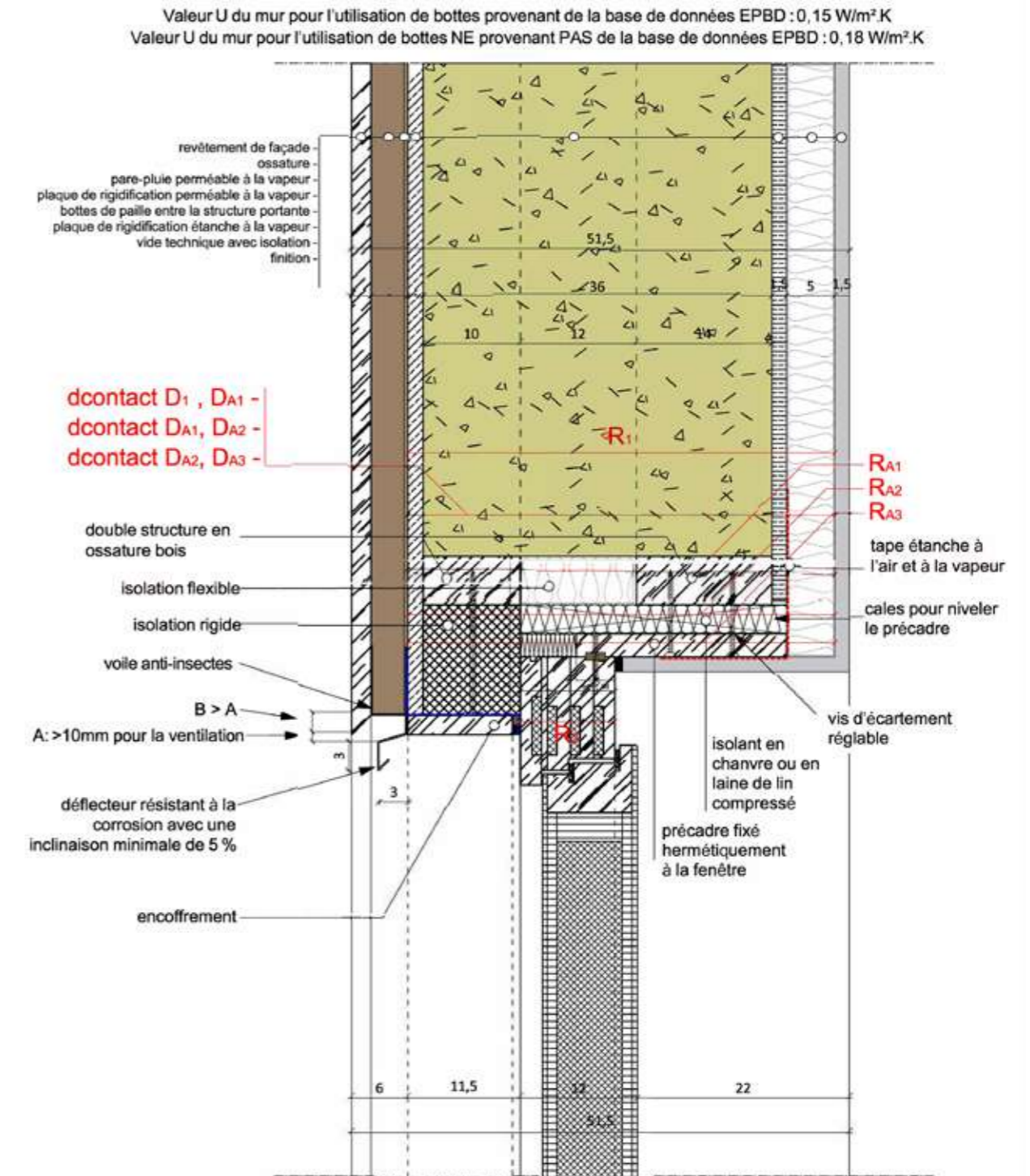
- ▶ $d_{\text{contact}} D_1, D_{A1} = 44 \text{ cm} \rightarrow \text{ok}$
- ▶ $d_{\text{contact}} D_{A1}, D_{A2} = 44 \text{ cm} \rightarrow \text{ok}$
- ▶ $d_{\text{contact}} D_{A2}, D_{A3} = 44 \text{ cm} \rightarrow \text{ok}$
- ▶ $d_{\text{contact}} D_{A3}, D_2 =$ Le rupteur de pont thermique du cadre est en contact direct avec la partie isolée $D_{A3} \rightarrow \text{ok}$

Exigence de longueur de contact pour les fenêtres et les portes

Si une pièce isolante est reliée à un profilé de fenêtre ou de porte sans rupture thermique, dx est égal à l'épaisseur du cadre fixe du profilé de fenêtre ou de porte, mesuré perpendiculairement à la surface du verre.

Si une pièce isolante est reliée à un profilé de fenêtre ou de porte avec coupure thermique, seule la pièce isolante doit être en contact direct avec la coupure thermique sur toute la largeur de la coupure thermique.

Détail 13



Mur en bottes de paille avec bardage extérieur – Toiture en pente

Nœud conforme à la PEB :

Les nœuds acceptés par la PEB sont des nœuds linéaires dont les détails sont conformes aux règles de base imposées et qui ne provoquent aucune perte de chaleur non autorisée. Ce sont des nœuds constructifs faiblement déperditifs.

Le présent détail de construction est conforme à la règle de base 2 : Nœuds de construction où les couches d'isolation ne se connectent pas (ne peuvent pas se connecter) directement entre elles, mais où il est possible d'y interposer des pièces isolantes.

Éléments structurels de valeur U :

- ▶ **Mur de la valeur U :**
 - o Botte de paille : $\lambda_{ui} = 0,060 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ \Rightarrow Valeur U de la paroi = $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - o Botte de paille : $\lambda_{ui} = 0,060 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ \Rightarrow Valeur U de la paroi = $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$
- ▶ **Valeur U du toit :**
 - o Botte de paille : $\lambda_{ui} = 0,060 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ \Rightarrow Valeur U de la paroi = $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - o Botte de paille : $\lambda_{ui} = 0,080 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ \Rightarrow Valeur U de la paroi = $0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$

Exigence de la valeur λ : λ partie isolée $\leq 0,2 \text{ W/mK}$

- ▶ Panneau étanche à la vapeur : $\lambda_{ui} = 0,13 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Plaque de construction perméable à la vapeur : $\lambda_{ui} = 0,090 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Isolant de socle résistant à l'humidité : $\lambda_{ui} = 0,043 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Bois de construction : $\lambda_{ui} = 0,130 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Bottes de paille : $\lambda_{ui} = 0,080$ ou $0,060 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- ▶ Panneaux de fibres de bois : $\lambda_{ui} = 0,048 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$

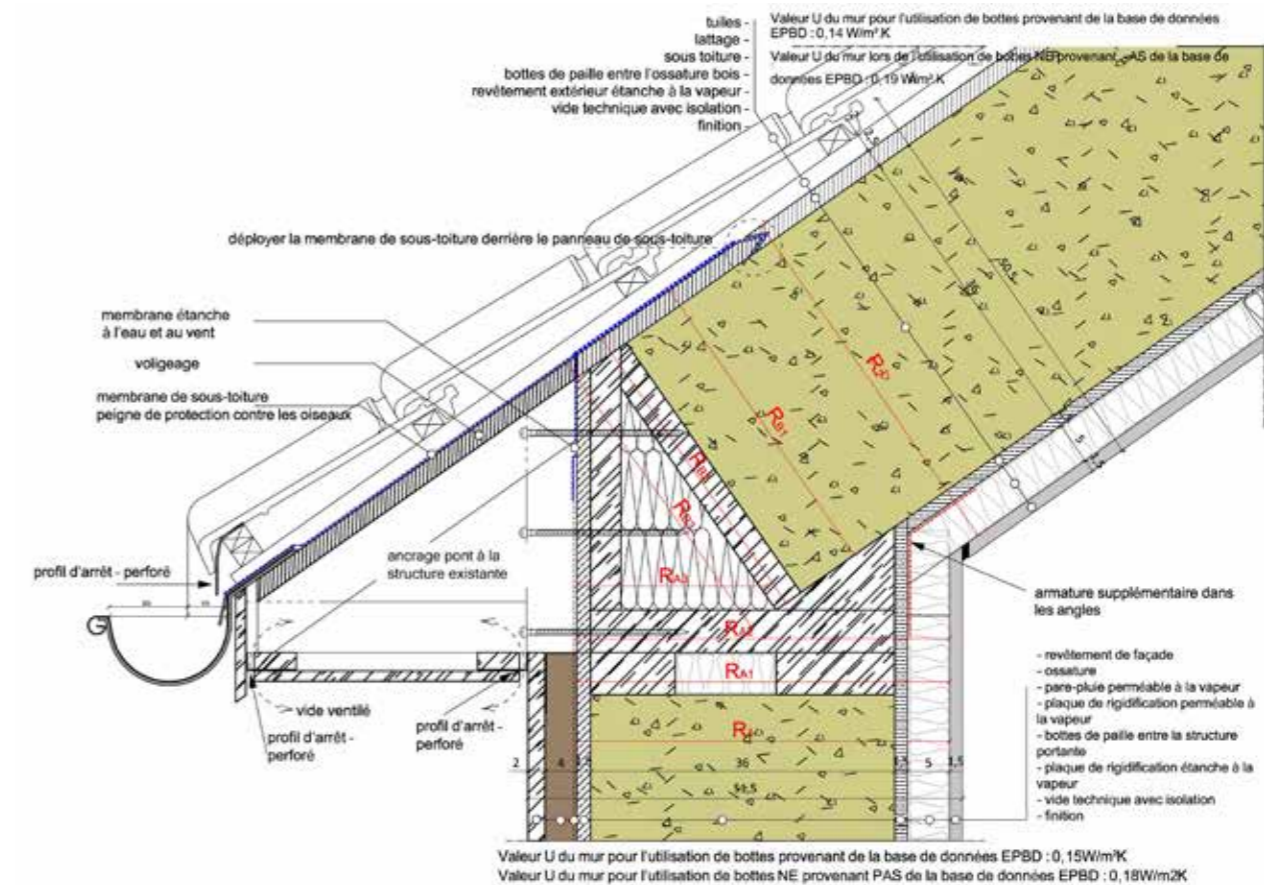
Valeur R requise : $R \geq \min (R1/2, R2/2, 1,5)$

- ▶ R_1 Paroi de Botte de paille de paille + Plaques + Cavité technique = $7,46 \text{ m}^2\text{K/W} \Rightarrow R1 > 2 \Rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_{A1} Bois de construction + Isolant + Plaques + Cavité technique = $6,09 \text{ m}^2\text{K/W} \Rightarrow RA > 2 \Rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_{A2} Bois de construction + Plaques + Cavité technique = $4,23 \text{ m}^2\text{K/W} \Rightarrow RA > 2 \Rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_{A3} Isolant + Bois de construction + Feuille perméable à la vapeur d'eau = $4,73 \text{ m}^2\text{K/W} \Rightarrow RA > 2 \Rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_{B3} Isolant + Bois de construction + Fibre de bois = $8,21 \text{ m}^2\text{K/W} \Rightarrow RA > 2 \Rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_{B2} Bois de construction + Fibre de bois = $3,23 \text{ m}^2\text{K/W} \Rightarrow RA > 2 \Rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_{B1} Toiture paille + fibre de bois = $6,46 \text{ m}^2\text{K/W} \Rightarrow R1 > 2 \Rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_2 Toiture paille + Fibre de bois + Bâche + Isolant = $7,74 \text{ m}^2\text{K/W} \Rightarrow R1 > 2 \Rightarrow \text{ok}$

Longueur de contact requise : $d_{\text{contact},i} \geq \min (d_{\text{partie isolée}}/2, dx/2)$

- ▶ $d_{\text{contact}} D1, DA1 = 44 \text{ cm} \Rightarrow \text{ok}$
- ▶ $d_{\text{contact}} DA1, DA2 = 44 \text{ cm} \Rightarrow \text{ok}$
- ▶ $d_{\text{contact}} DA2, DA3 = 22,3 \text{ cm} \Rightarrow \text{ok}$
- ▶ $d_{\text{contact}} DA3, DB3 = 22,3 \text{ cm} \Rightarrow \text{ok}$
- ▶ $d_{\text{contact}} DB3, DB2 = 38,2 \text{ cm} \Rightarrow \text{ok}$
- ▶ $d_{\text{contact}} DB2, DB1 = 38,2 \text{ cm} \Rightarrow \text{ok}$
- ▶ $d_{\text{contact}} DB1, D2 = 38,2 \text{ cm} \Rightarrow \text{ok}$

Détail 14



Equivalences normatives

Ce tableau présente les normes utilisées en France et leurs équivalents en Belgique. Afin de faciliter la lecture, ce tableau présente uniquement les titres et références des normes mais un tableau plus complet donnant la présentation des normes est disponible en ligne :

<https://bit.ly/normesCP2012-FR-BE>

Principales références normatives utilisées dans l'ouvrage : RESEAU FRANÇAIS DE LA CONSTRUCTION PAILLE, Règle professionnelles de construction en paille, Edition le Moniteur, 2018, Paris.

Page CP 2012 n°	Chapitre CP2012 n°	Référence - Titre (FR)	Référence BE	Titre (BE-FR)
39 (annexe 7)	3.1.5.1	NF EN ISO 11925-2	NBN EN ISO 11925-2/AC : 2011	Reaction to fire tests - Ignitability of products subjected to direct impingement of flame - Part 2: Single-flame source test (ISO 11925-2:2010/Cor 1:2011)
39 (annexe 7)	3.1.5.1	EN 13501-1:2007	NBN EN 13501-1 : 2019	Fire classification of construction products and building elements
40	3.1.5.2	NF P 08-302 : Murs extérieurs des bâtiment – Résistance aux chocs – Méthodes d'essais et critères	NBN EN 13497 NBN EN 14019 NBN EN 949 NBN EN 950 NBN EN 15057	Produits isolants thermiques pour le bâtiment - Détermination de la résistance au choc des systèmes composites d'isolation thermique par l'extérieur (ETICS) Façades rideaux - Résistance au choc - Prescriptions de performance Fenêtres et façades-rideaux, portes, stores et fermetures - Détermination de la résistance au choc de corps mou et lourd pour les portes Vantaux de portes - Détermination de la résistance au choc de corps dur Plaques profilées en fibres ciment - Méthode d'essai de résistance au choc
48	3.4.2	NF EN ISO 13788 : Performance hygrothermique des composants et des parois de bâtiments – Température superficielle intérieure permettant d'éviter l'humidité superficielle critique et la condensation dans la masse – Méthodes de calcul	NBN EN ISO 13788 : 2013	Performance hygrothermique des composants et parois de bâtiments - Température superficielle intérieure permettant d'éviter l'humidité superficielle critique et la condensation dans la masse - Méthodes de calcul (ISO 13788:2012)
48	3.4.2	NF EN 15026 : Performance hygrothermique des composants et parois de bâtiment – Evaluation du transfert d'humidité par simulation numérique	NBN EN 15026	Performance hygrothermique des composants et parois de bâtiments - Evaluation du transfert d'humidité par simulation numérique

48	3.4.2	Classement des locaux en fonction de l'exposition à l'humidité des parois et nomenclature des supports pour revêtements muraux intérieurs, e-cahiers du CSTB	Infofiche 11, 2004/08.	Classes de climat intérieur
48	3.4.2	Transferts d'humidité à travers les parois, CSTB (fr) 2009	Ditto	
48 - 95	3.4.2 - 4.2.6.3	NF DTU 43.4 : Toitures en éléments porteurs en bois et panneaux dérivés du bois avec revêtements d'étanchéité	NIT/TV 215, 100 p., 2000/03/00.	La toiture plate : Composition - Matériaux - Réalisation - Entretien
53	3.5.2	Arrêté du 30 mai 1996 modifié [NOR : ENVP9650195A] relatif aux modalités de classement des infrastructures de transports terrestres et à l'isolement acoustique des bâtiments d'habitation dans les secteurs affectés par le bruit, JO du 28 juin 1996, dernière modification par l'arrêté du 11 janvier 2016, JO du 13 janvier 2016	13 mai 2004 - Arrêté du Gouvernement wallon relatif à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement (M.B. 12.07.2004 - err. 11.05.2007) Arrêté du 22 décembre 2016 du Gouvernement wallon adoptant les valeurs limites de bruit pour les grands axes routiers	
53	3.5.2	NF EN ISO 717 -1 Acoustique – Evaluation de l'isolement acoustique des immeubles et des éléments de construction Partie1 isolement aux bruits aériens– NF EN ISO 717 -2 Partie 2 : protection contre le bruit de choc	NBN EN ISO 717-1 : 2013	Acoustique - Évaluation de l'isolement acoustique des immeubles et des éléments de construction - Partie 1: Isolement aux bruits aériens (ISO 717-1:2013)
53	3.5.2	NF S 31-080 : Acoustique - Bureaux et espaces associés – Niveaux et critères de performances acoustiques par type d'espace	NBN S 01-400 : 1977	Acoustique - Critères de l'isolation acoustique
53	3.5.2	Arrêté du 30 juin 1999 [NOR : EQUU9900635A] relatif aux modalités d'application de la réglementation acoustique, JO du 17 juillet 1999	NBN S 01-400-1 : 2008 prNBN S 01-400-1 : 2019	Critères acoustiques pour les immeubles d'habitation Acoustical criteria for dwellings

53 (annexe 7)	3.5.3	EN ISO 140-1:2005	NBN EN ISO 140-1	Acoustique - Mesurage de l'isolement acoustique des immeubles et des éléments de construction - Partie 1: Spécifications relatives aux laboratoires sans transmissions latérales.
56	3.6.2	DTU 13.3 : Dallages – Conception, calcul et exécution	NIT/TV 236, 49 p., 2009/09/00, 67 réf. NIT/TV 189, 82 p., 1993/09/00, 90 réf. NIT/TV 193, 60p., 1994/09/00, 70 réf. STS 44	Conception et exécution des dalles mixtes acier-béton Les chapes pour couvre-sols. 1ère partie : Matériaux - Performances - Réception Les chapes. 2e partie: Mise en œuvre Chapes de nivellement et sols industriels
56	3.6.2	DTU : 14.1 Travaux de cuvelage	NIT/TV 250, 44 p., 2014/08/00. NIT/TV 252, 68 p., 2014/12/00 NIT/TV 247, 90 p., 2012/11/00.	Détails de référence pour les constructions enterrées. L'humidité dans les constructions. Particularités de l'humidité ascendante Conception et exécution des ouvrages étanches en béton.
56 - 74 - 103-111-121-136	3.6.2 - 4.2.1 - 5.2.2 - 5.3.2 - 6.1.3 - 7.1.3	NF DTU 31.2 : Construction de maisons et bâtiments à ossature en bois	STS 23 (2015)	Constructions en ossature bois
56 -135	3.6.2 - 7.1.3	DTU 23.1 Murs en béton banché	NBN EN 13670	Exécution des structures en béton
56-135	3.6.2 - 7.1.3	NF DTU 21 : Exécution des ouvrages en béton	NBN B 15-006 : Eurocode 2 NBN B 15-002 : Eurocode 2 NBN EN 13670	Calcul des structures en béton Calcul des structures en béton - Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments. Exécution des structures en béton

56-74-111	3.6.2- 4.2.1-5.3.2	NF DTU 20.1 : Ouvrage en maçonnerie de petits éléments – Parois et murs	NBN EN 771-1 +A1 NBN EN 771-2 +A1 NBN EN 771-3 +A1 NBN EN 771-4 +A1 NBN EN 771-5 +A1 NIT/TV 271, 144 p. 02020/02/00 STS 22 STS 22-1 STS 22-2	Spécification pour éléments de maçonnerie - Partie 1: Briques de terre cuite Spécifications pour éléments de maçonnerie - Partie 2: Éléments de maçonnerie en silico-calcaire Spécifications pour éléments de maçonnerie - Partie 3: Éléments de maçonnerie en béton de granulats (granulats courants et légers) Spécifications pour éléments de maçonnerie - Partie 4 : Éléments de maçonnerie en béton cellulaire autoclavé Spécifications pour éléments de maçonnerie - Partie 5 : Éléments de maçonnerie en pierre reconstituée Exécution des maçonneries STS 22. Maçonnerie pour constructions basses. STS 22-1 : Maçonnerie pour construction basse Matériaux STS 22-2: Maçonnerie pour construction basse-Stabilité
74	4.2.1	(Eurocodes 0 à 9)	Ditto	
74 - 103-111	4.2.1- 5.2.2- 5.3.2	NF DTU 31.1 : Charpente en bois	NBN EN 1995-1-1 / A1: Eurocode 5 STS 31 (2008)	Eurocode 5: Conception et calcul des structures en bois - Partie 1-1 : Généralités - Règles communes et règles pour les bâtiments. Charpenterie
74-111	4.2.1-5.3.2	NF DTU 32.1 : Construction métallique : Charpente en acier	NBN EN 1993-1-1 : Eurocode 3	Calcul des structures en acier
74-111-121	4.2.1- 5.3.2-6.1.3	NF DTU 26.1 : Travaux d'enduits de mortiers	NIT/TV 199, 51 p., 1996/03/00. NIT/TV 201, 46 p., 1996/09/00. NIT/TV 209, 54 p., 1998/09/00. NIT/TV 257, 164 p., 2016/08/00.	Les enduits intérieurs. 1ère partie. Les enduits intérieurs. 2e partie : Mise en oeuvre. Les enduits extérieurs (partiellement remplacée par la NIT/TV 257). Enduits sur isolation extérieure (ETICS) (remplace partiellement la NIT/TV 209).
95	4.2.6.3	DTU 43.1 : Étanchéité des toitures-terrasses et toitures inclinées avec éléments porteurs en maçonnerie en climat de plaine	NIT/TV 215, 100 p., 2000/03/00. NIT/TV 244, 112 p., 2012/02/00. STS 34.8	La toiture plate : Composition - Matériaux - Réalisation - Entretien Les ouvrages de raccord des toitures plates : principes généraux Revêtements d'étanchéité de toitures

95	4.2.6.3	DTU 43.3 : Mise en œuvre des toitures en tôles d'acier nervurées avec revêtement d'étanchéité	NIT/TV 266, 136 p., 2018/07/00.	Couvertures et bardages métalliques à joints debout et à tasseaux
95	4.2.6.3	Règles professionnelles pour la conception et la réalisation des terrasses et toitures végétalisées, ADIVET/CSFE/SNPPA/UNEP	NIT/TV 229, 78 p., 2006/09/00.	Les toitures vertes
95-137	4.2.6.3 - 7.2.2	Règles professionnels pour la fabrication et la mise en œuvre des bardages métallique, SNFA/CITAG/SNPPA, SEBTP	NIT/TV 266, 136 p., 2018/07/00.	Couvertures et bardages métalliques à joints debout et à tasseaux
101	5.1.2	DTU 40.5 : Travaux d'évacuation des eaux pluviales	NIT/TV 270, 60 p. (2019)	Installations d'évacuation gravitaire des eaux pluviales des bâtiments. Conception et dimensionnement
103	5.2.2	NF DTU 36.5 : Mise en œuvre des fenêtres et portes extérieures	NIT/TV 188, 55 p., 1993/06/00. STS 52.x Menuiseries extérieures	La pose des menuiseries extérieures
103	5.2.2	NF DTU 39 Travaux de vitrerie-miroiterie	NBN S 23-002 NIT/TV 261, 72 p., 2017/04/00.	Vitrerie Ouvrages particuliers en verre. Partie 2 : applications non structurales (vitrines, portes et ensembles en verre trempé).
111	5.3.2	NF DTU 60.1 : Plomberie sanitaires pour bâtiments	NIT/TV 145, 16 p., 1983/02/00. NIT/TV 207, 59 p., 1998/03/00. NIT/TV 245, 46 p., 2012/08/00.	Recommandations pour l'utilisation des tubes en acier galvanisé pour la distribution d'eau sanitaire chaude et froide Systèmes de tuyauteries en matériau synthétique pour la distribution d'eau chaude et froide sous pression dans les bâtiments Recommandations pour l'utilisation des tubes en cuivre pour la distribution d'eau sanitaire chaude et froide (remplace la NIT/TV 154)

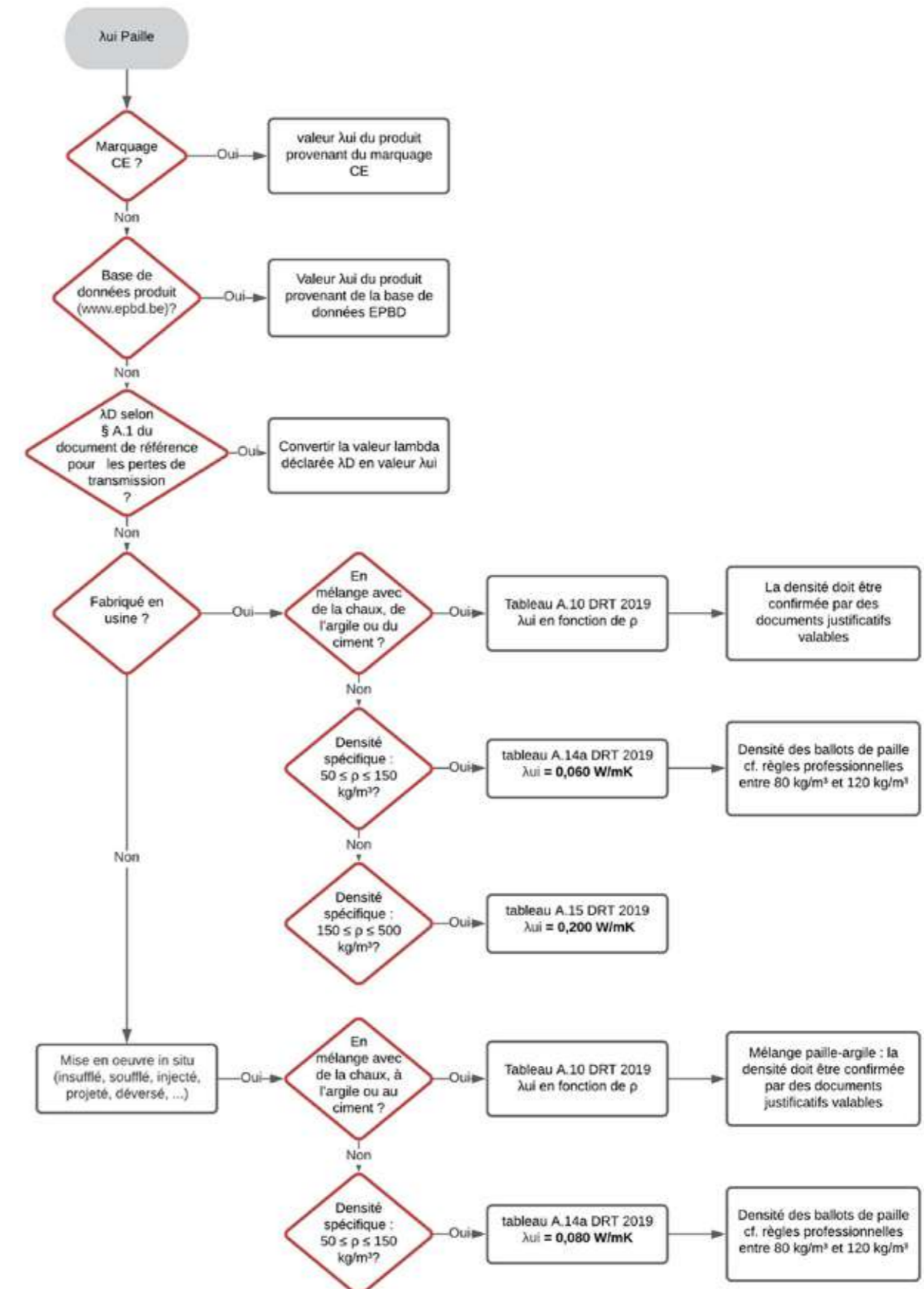
111	5.3.2	Série des DTU 65 : Chauffage	NIT/TV 170, 88 p., 1987/12/00. NIT/TV 181, 44 p., 1990/09/00. Les Dossiers du CSTC 2019/4.13, 11 p. NIT/TV 212, 70 p., 1999/06/00. NBN EN 15450	Emission de chaleur et dimensionnement des installations de chauffage par le sol (partiellement remplacée par CSTC-Rapport n° 18) Méthode de calcul simplifiée d'un système de chauffage par le sol (partiellement remplacée par CSTC-Rapport n° 18) Local de chauffe : destination, ventilation et amenée d'air comburant Code de bonne pratique pour l'installation des chauffe-eau solaires Systèmes de chauffage dans les bâtiments - Conception des systèmes de chauffage par pompe à chaleur
111	5.3.2	Série des DTU 68 : Ventilation	NIT/TV 258, 92 p., 2016/08/00. NBN D 50-001 NBN EN 16798-3 : 2017 (remplace NBN EN 13779) STS-P 73-1	Guide pratique des systèmes de ventilation de base des logements Dispositifs de ventilation dans les bâtiments d'habitation. Bruxelles, NBN, 1991. Performance énergétique des bâtiments - Ventilation des bâtiments - Partie 3: Pour bâtiments non résidentiels - Exigences de performances pour les systèmes de ventilation et de climatisation (Modules M5-1, M5-4) Systèmes pour la ventilation de base dans les applications résidentielles
111	5.3.2	DTU 70.1 : Installations électriques des bâtiments à usage d'habitation	RGIE	Règlement général sur les installations électriques (RGIE)
111	5.3.2	NF C 15-100 : Installations électriques à basse tension	RGIE	Règlement général sur les installations électriques (RGIE)

111 - 136	5.3.2 - 7.1.3	NF DTU 24.1 : Travaux de fumisterie – Système d'évacuation des produits de combustion desservant un ou des appareils	NBN EN 15287-1+A1 : 2010 NBN EN 15287-2 : 2008 WTCB/CSTC -Contact nr. 47 (3-2015)	Conduits de fumée - Conception, installation et mise en service des conduits de fumée - Partie 1: Conduits de fumée pour appareils de combustion qui prélèvent l'air comburant dans la pièce Conduits de fumée - Conception, installation et mise en service des conduits de fumée - Partie 2 : Conduits de fumée pour chaudières étanches CSTC -Contact nr. 47 (3-2015): Traversée des conduits de fumée en toitures inclinées : distance de sécurité vis-à-vis des matériaux combustibles
129	6.3.3	Règles allemandes de construction terre	Ditto	
136	7.1.3	NF DTU 24.2 : Travaux d'âtrerie	NBN EN 16510-1 : 2018	Appareils de chauffage domestiques à combustion solide - Partie 1: Exigences générales et méthodes d'essai (Il ne s'agit pas d'une équivalence, la NBN décrit la conception et les tests des inserts mais pas les conditions de pose)
136	7.1.3	NF DTU 25.31 : ouvrage en carreaux de plâtre	NBN EN 12859 NBN EN 12860 NBN EN 15318 : 2008	Carreaux de plâtre - Définitions, spécifications et méthodes d'essai Liants-colles à base de plâtre pour carreaux de plâtre - Définitions, spécifications et méthodes d'essai (+AC:2002) Conception et exécution des ouvrages en carreaux de plâtre
136	7.1.3	NF DTU 25.41 : ouvrage en plaques de plâtre	NIT/TV 233, 70 p., 2007/12/00. NIT/TV 232, 54 p., 2007/11/00.	Les cloisons légères Les plafonds suspendus
137	7.2.2	NF DTU 33.1 : Façade rideaux, façades semi-rideaux, façades panneaux	Rapport CSTC, 2009, n° 11, 153 p STS 56 Vitrages extérieurs collés.	Application des Eurocodes à la conception des menuiseries extérieures (disponible en ligne uniquement)
137	7.2.2	NF DTU 41.2 : Revêtements extérieurs en bois	NIT/TV 243	Les revêtements de façade en bois et en panneaux à base de bois.

	contexte normatif	DTU 13.2 : travaux de fondations profondes pour le bâtiment	NIT/TV 129, 390 p., 1979/12/00. NIT/TV 147, 68 p., 1983/06/00.	Procédés de fondations profondes et d'infrastructure. Fondations de maisons. Guide pratique pour la conception et l'exécution des fondations de constructions petites et moyennes.
	contexte normatif	Série des DTU 40.2 : Couvertures en tuiles	NIT/TV 240, 71 p., 2011/02/00.	Toitures en tuiles
	contexte normatif	Série des DTU 40.3 : Couverture en plaques métalliques	NIT/TV 266, 136 p., 2018/07/00. STS 34-2	Couvertures et bardages métalliques à joints debout et à tasseaux Couvertures de bâtiment Deuxième partie : couvertures métalliques
	contexte normatif	NF DTU 55. 2 Revêtements muraux attachés en pierre mince	NIT/TV 146, 64 p., 1983/04/00. NIT/TV 228, 2006/06/00.	Les revêtements extérieurs verticaux en matériaux pierreux naturels de mince épaisseur (partiellement remplacée par la NIT/TV n° 228 en ce qui concerne les méthodes d'essais et les critères de résistance au gel) Pierres naturelles (NIT/TV interactive et évolutive en remplacement de la NIT/TV 205)
	contexte normatif	NF DTU 60.11 : Règles de calcul des installations de plomberie sanitaires et d'eaux pluviales	Distribution eau froide/Chaude -> Voir ci-dessus	
	contexte normatif	Série des DTU 60.3 : Canalisation en pvc	NIT/TV 265, 48 p., 2018/06/00 NIT/TV 270, 60 p.	Installations pour l'évacuation des eaux usées dans les bâtiments Installations d'évacuation gravitaire des eaux pluviales des bâtiments. Conception et dimensionnement
	contexte normatif	Règles BF 88 : Méthode de justification par le calcul de la résistance au feu des structures bois	NBN EN 1995-1-2/AC : 2009	Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-2: General - Structural fire design
	contexte normatif	Règlementation thermique en vigueur	Règlementation sur la performance énergétique des bâtiments	PEB
	contexte normatif	Agrément technique général Z-23.11-1595, Institut allemand de la construction	Ditto	

	contexte normatif	Règles professionnelles des systèmes d'étanchéité liquide appliqués sur planchers extérieurs en maçonnerie dominant des parties non closes de bâtiment, APSEL/CSFE/SSFJF	STS 34.8	Revêtements d'étanchéité de toitures
	contexte normatif	Série des DTU 40.1 : Couverture en ardoises et matériaux divers	NIT/TV 219, 74 p., 2001/03/00. NIT/TV 195, 52 p., 1995/03/00. STS 34.03.6	Toitures en ardoises : Conception et exécution des ouvrages de raccord Toitures en ardoises naturelles. 1ère Partie: Conception et mise en œuvre Couverture des bâtiments: Ardoise naturelle

Organigramme de décision d'une valeur λ pour la PEB



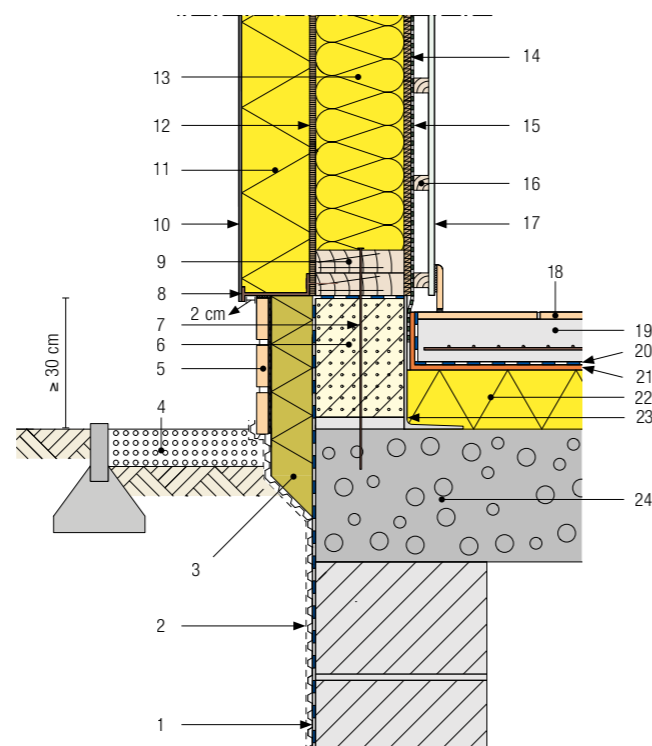
Détails constructifs – Jonction des fondations d'un mur en bottes de paille avec enduit à l'intérieur et à l'extérieur

Composition du détail constructif :

1. Détail de référence

Sur la base d'un détail de construction standard sur une construction à ossature bois : raccord en pied de mur (CSTC et Lignian 2018).

1. Barrière d'étanchéité
2. Membrane à excroissances
3. Isolant de socle résistant à l'humidité
4. Gravier (drainage)
5. Briquette
6. Bloc constructif isolant
7. Fixation mécanique (ancrage)
8. Profilé de départ
9. Lisse de nivellement
10. Enduit (ETICS)
11. Panneau d'isolation (ETICS)
12. Panneau de support de l'ETICS
13. Isolation de l'ossature en bois
14. Contreventement
15. Pare-vapeur + étanchéité à l'air
16. Lattage (espace technique)
17. Plaque de finition
18. Revêtement de sol
19. Chape
20. Membrane éventuelle
21. Isolation acoustique éventuelle
22. Isolation thermique du plancher
23. Étanchéité à l'air
24. Dalle portante



2. Composition de la paroi

Pour ce détail de construction, nous avons choisi une composition de paroi traditionnelle, avec un enduit d'argile à l'intérieur et un enduit à la chaux à l'extérieur. Cette composition est décrite dans la publication « Règles professionnelles de construction en paille - Remplissage isolant et support d'enduit - Règles CP 2012 révisées » (RFCP 2018)

3. Composition de la paroi – Diffusion de la vapeur

Selon les STS 23-1 (SPF Economie 2015), pour la composition de parois ossature bois, l'étanchéité à la vapeur du parement intérieur doit être 6 à 15 fois supérieure à l'étanchéité du parement extérieur. La composition choisie ne répond pas à cette exigence, et, par conséquent, elle se situe actuellement en dehors du cadre référentiel belge actuel.

Cette composition a donc été étudiée spécifiquement, car elle est fréquemment utilisée pour la construction en paille et des recommandations manquantes peuvent être identifiées.

Pour les points qui ne font pas l'objet d'un cadre référentiel belge, nous renvoyons à la publication du RFCP : « Règles professionnelles de construction en paille - Remplissage isolant et support d'enduit - Règles CP 2012 révisées » (RFCP 2018) et à sa traduction néerlandaise : « *Professionele regels voor strobouw - gebruik van stro als isolerend vulmateriaal en als drager voor pleisterwerk* » y compris ses procédures de contrôle et de validation.

La publication française fixe la règle suivante à respecter :

- ▶ le parement doit être plus étanche à la vapeur à l'intérieur qu'à l'extérieur
ou
- ▶ la valeur Sd du parement extérieur doit être inférieure ou égale à 1 mètre.

Cette composition répond à la dernière règle puisque l'enduit à la chaux (d'une épaisseur de 3 cm et d'une valeur μ de 12) obtient une valeur Sd de 0,36 m, ce qui est considéré comme très perméable à la vapeur.

Calcul de la valeur Sd pour un revêtement multicouche Enduit intérieur à l'argile - Botte de paille - Enduit extérieur à la chaux								
Couche	Matériau	Coefficient μ	x	Epaisseur (m)	=	Résistance à la diffusion de la vapeur (Sd) (meter)	Ratio Sd intérieur - extérieur	Commentaire
1	Enduit à l'argile	7	x	0,035	=	0,25	1,15	Étanchéité à l'extérieur
2	Paille	1,15	x	0,36	=	0,41		! Attention, montage non conforme à la norme STS 23-1 Constructions à ossature bois ! (La construction est conforme aux règles professionnelles françaises pour la construction en paille)
3	Enduit à la chaux	12	x	0,03	=	0,36		Étanchéité à la pluie et au vent à l'extérieur.

Composition de la paroi – Calcul des valeurs Sd

La simulation sur le site Ubakus – Uwert Rechner montre que, à des températures négatives, de la condensation peut se former au niveau de l'enduit extérieur.



Composition de la paroi – Simulation Ubakus – Température extérieure -5°C

La simulation sur le site Ubakus – Uwert Rechner montre que, à partir de +6°C, aucune condensation ne se forme.



Composition de la paroi – Simulation Ubakus – Température extérieure +6°C

4. Complexe de plancher - Généralités

Le complexe de plancher est réalisé de manière traditionnelle. Une attention supplémentaire est accordée à la conception du plancher, étanche à l'air et à l'eau, ainsi qu'au respect des niveaux (CSTC et Legrand 1983).

5. Fondation - Généralités

La composition de la fondation est réalisée de manière traditionnelle. Le profil du terrain est ajusté en fonction de la fondation (CSTC et Legrand 1983).

6. Excavation du terrain

Les excavations nécessaires sont effectuées en fonction de la réalisation des semelles de fondation, de la dalle et du drainage (CSTC et Whenham 2006).

7. Boucle de mise à la terre

Chaque bâtiment neuf, dont la profondeur minimale du fond de la semelle de fondation est de 60 cm, doit être pourvu d'une boucle de mise à la terre. La boucle doit être installée directement dans le sol, au fond de la semelle de fondation, et doit être recouverte de terre afin qu'elle n'entre jamais en contact avec le matériau des murs de soubassement (SPF Economie 2020).

8. Plate-forme de travail

Une plate-forme de travail est installée de manière à obtenir une surface plane pour installer le plancher portant et la membrane anticapillaire (CSTC, Van Ginderachter, et Parmentier 200).

9. Membrane anticapillaire

Pour couler le sol en béton, une membrane anticapillaire est placée sous la dalle et dans la semelle de fondation afin de protéger la construction des remontées capillaires et éviter que le béton ne sèche trop rapidement en empêchant l'infiltration d'eau dans le sous-sol (CSTC et Legrand 1983, 147).

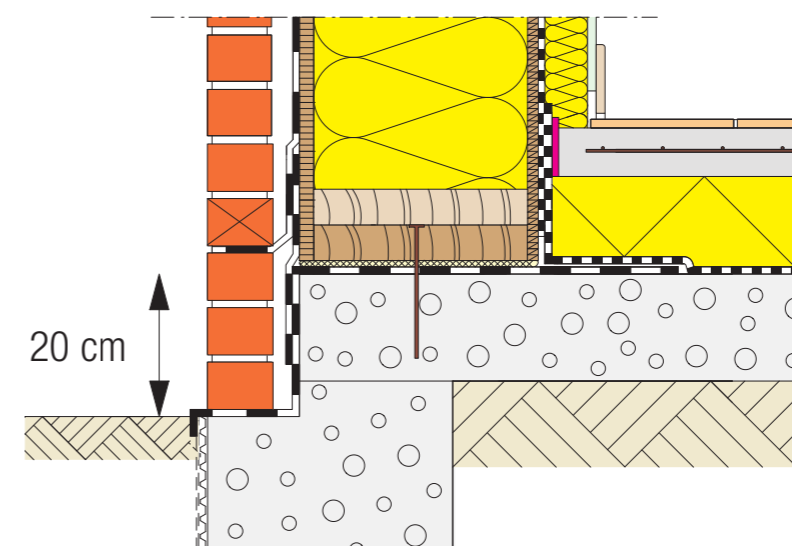
10. Coulage de la dalle de béton

Lors de l'installation de la dalle de béton, des mesures doivent être prises pour réduire au minimum la formation de fissures. En effet, la formation de fissures a un impact négatif sur l'étanchéité de la construction.

11. Éléments d'ancrage pour l'ossature bois

Il y a deux possibilités de placer les éléments d'ancrage (CSTC et Lignian 2018) :

- ▶ **Option A :** Les éléments d'ancrage sont coulés dans la dalle de fondation.
- ▶ **Option B :** Après l'installation des blocs de construction isolants, les éléments d'ancrage sont ancrés chimiquement au travers des blocs à la dalle de fondation.



12. Bande d'étanchéité sous le bloc de construction isolant

Afin de protéger le bloc de construction contre l'humidité résultant de la déshydratation de l'humidité de construction dans la dalle de béton ou contre l'infiltration de l'humidité capillaire, le bloc de construction isolant est placé sur une barrière anticapillaire (CSTC et Legrand 1983).

13. Bloc de construction isolant - Généralités

Pour assurer la continuité de l'isolation entre le sol et le mur, un bloc de construction isolant est placé sous le mur extérieur (CSTC et Dobbels 2006).

14. Bloc de construction isolant – hauteur

Le bloc de construction isolant détermine la hauteur au-dessus du niveau du sol fini de la construction en ossature bois et en bottes de paille. Les directives suivantes doivent être prises en compte (SPF Economie 2015) :

Extérieur : Hauteur libre au-dessus du niveau du sol fini

La lisse basse de nivellement doit être placée au moins 20 cm au-dessus du niveau du sol fini.

Si la hauteur au-dessus du niveau du sol fini est localement inférieure à 20 cm, des mesures doivent être prises afin d'éviter les infiltrations d'eau, par exemple grâce à des caniveaux.

Pour l'enduit extérieur, la lisse de nivellement doit être placée au moins 30 cm au-dessus du niveau du sol fini.

Intérieur : Hauteur libre au-dessus du niveau du sol fini

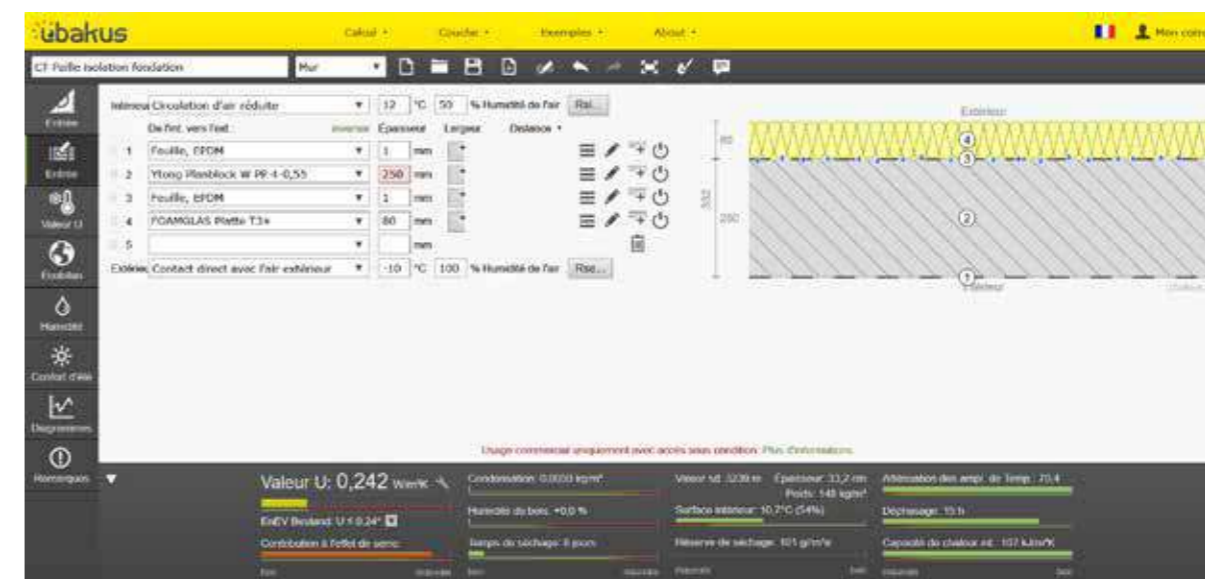
À l'intérieur, une zone de protection étanche doit être prévue à 4 cm au-dessus du sol intérieur fini. Cela peut se faire en plaçant les bottes de paille 4 cm au-dessus du sol intérieur fini et une membrane d'étanchéité 4 cm au-dessus du sol intérieur fini.

15. Bloc de construction isolant – largeur

Pour déterminer la largeur du bloc de construction isolant, il faut tenir compte des recommandations suivantes :

A. Installation à l'abri du gel (FEBECCEL, Jos, et Ingelaere 2017)

- ▶ Les blocs cellulaires peuvent être considérés comme résistants au gel, à moins qu'ils ne dépassent un taux d'humidité critique. Cela peut se produire lorsque les blocs cellulaires sont finis de manière étanche à la vapeur à l'extérieur.
- ▶ C'est pourquoi, pour éviter que le gel n'endommage le bloc cellulaire en cas de forte humidité, (par ex. si la membrane d'étanchéité à l'intérieur ont été mal placée), un isolant de socle résistant au gel et à l'humidité est placé devant le bloc cellulaire, dans le détail de construction.
- ▶ La simulation sur l'outil Ubakus montre qu'avec un verre cellulaire de 8 cm, le gel ne se forme sur l'extérieur du bloc cellulaire que lorsque la température extérieure est inférieure à -10°C et que la température intérieure est de 15°C . Ces conditions sont considérées comme suffisamment extrêmes.
- ▶ Dans le présent détail, l'on tient compte de :
 - un bloc cellulaire d'une valeur λ de $0,125 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
 - une plaque de verre cellulaire d'une valeur λ de $0,036 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$



B. Stabilité

Afin de garantir la hauteur libre par rapport aux sols intérieurs et extérieurs, la lisse basse est placée sur une surface résistante à la compression, c'est-à-dire le bloc de construction isolant. Le choix de l'épaisseur du bloc de construction isolant limite le porte-à-faux de la lisse basse (SPF Economie 2015).

C. Nœud constructif conforme au PEB

Les nœuds constructifs conformes à la PEB sont des nœuds constructifs linéaires dont les détails sont conformes aux règles de base imposées et qui n'entraînent aucune perte calorifique non-conforme. Ce sont des nœuds à pont thermique négligeable (energiesparen.be s. d.; SPW guide PEB s. d.).

Les détails constructifs actuels sont conformes à la règle de base 2 (energiesparen.be s. d.; SPW guide PEB s. d.) : nœuds constructifs dont les couches isolantes ne sont pas (peuvent pas être) reliées directement entre elles, mais dont il est possible de joindre les parties isolantes.

Exigence de valeur λ : $\lambda_{\text{insulating part}} \leq 0,2 \text{ W}/\text{mK}$

- ▶ Isolation du sol : $\lambda_{\text{ui}} = 0,040 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
- ▶ Béton cellulaire : $\lambda_{\text{ui}} = 0,125 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
- ▶ Verre cellulaire : $\lambda_{\text{ui}} = 0,036 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
- ▶ Bois de structure : $\lambda_{\text{ui}} = 0,130 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
- ▶ Liège : $\lambda_{\text{ui}} = 0,040 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
- ▶ Bottes de paille : $\lambda_{\text{ui}} = 0,080$ ou $0,060 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

Exigence valeur R : $R \geq \min(R_1/2, R_2/2, 2)$

- ▶ R1 bottes de paille = $6,00 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$
 $R_1 > 2 \rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_A bois de structure + liège = $4,24 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ - couche d'isolant composite (*1)
 $R_A > 2 \rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_{B1} béton cellulaire + verre cellulaire = $4,22 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ - couche d'isolant composite (*1)
 $R_{B1} > 2 \rightarrow \text{ok}$
- ▶ R_{B2} béton cellulaire = $2,40 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ - R_{B2} ne passe que dans le béton cellulaire (*2)
 $R_{B2} > 2 \rightarrow \text{ok}$
- ▶ R₂ isolation du sol = $4,00 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$
 $R_2 = 2 \rightarrow \text{ok}$

Exigence longueur de contact : $d_{\text{contact}}, i \geq \min(d_{\text{insulating part}}/2, dx/2)$

- ▶ $d_{\text{contact}} D_1, D_A = 36 \text{ cm} \rightarrow \text{ok}$
- ▶ $d_{\text{contact}} D_{B1}, D_A = 33,5 \text{ cm} \rightarrow \text{ok}$
- ▶ $d_{\text{contact}} D_{B2}, D_2 = 16 \text{ cm} \rightarrow \text{ok}$

16. Bande d'étanchéité au pied de mur

Une membrane d'étanchéité (membrane bitumineuse avec une armature imputrescible ou synthétique, par ex. epdm, avec ATG) est pliée vers le haut le long de la paroi intérieure du mur. La membrane dépasse de quelques millimètres au niveau de l'espace intérieur. La membrane est collée et placée en chevauchement (CSTC et Mahieu 2004).

17. Isolant étanche et résistant au gel, collé à la surface

Pour le socle, il est conseillé d'installer une plinthe isolante fabriquée à partir d'un matériau résistant au choc et à l'humidité. Le système composé d'un isolant, d'une plinthe et de colle doit protéger la paroi (aussi au niveau de joints) contre les intempéries.

Le choix de la colle joue un rôle important et le producteur de la colle doit garantir cet usage sur une surface appropriée (CSTC et Lignian 2018; CSTC et Grégoire 2011; CSTC 2013a).

18. Ancrage de la plinthe sur un isolant étanche et résistant au gel (par ex. : verre cellulaire)

La plinthe en pierre de taille peut être collée ou ancrée mécaniquement à la surface. Dans les deux cas, l'étanchéité et la protection contre les intempéries de la construction sous-jacente doivent être assurées (CSTC, Wijnants, et Arts 2017).

Puisque la publication du CSTC « NIT 146 Les revêtements extérieurs verticaux en matériaux pierreux naturels de mince épaisseur » (CSTC, Gerard, et Guyon de Montlivault 1983) indique les structures porteuses de béton cellulaire ne conviennent pas comme support pour l'ancrage mécanique des chevilles, une version collée est choisie dans ce détail de construction.

19. Coupure étanche du béton cellulaire et de la plinthe

Pour protéger le pied de mur contre l'humidité ascensionnelle, une membrane d'étanchéité à l'eau plus large que la lisse basse de nivellement doit être installée sous la lisse (CSTC et Lignian 2018).

20. Installation du drainage

Puisque l'étanchéité de la membrane au pied du mur n'est généralement pas garantie contre la pression de l'eau, un drainage est prévu au pied du mur afin de limiter la pression de l'eau sur la membrane d'étanchéité et de réduire le risque d'infiltration d'eau au pied du mur (CSTC et Mahieu 2004; CSTC 2014b).

21. Zone d'installation d'une bande de gravier autour du bâtiment

Pour l'enduit extérieur, une zone d'au moins 30 cm de gravier doit être prévue autour du bâtiment. Cela réduit le risque d'éclaboussures de la façade, favorise l'évacuation des eaux de surface, repousse la végétation et évite les risques de chocs dus aux travaux dans le jardin (CSTC et Lignian 2018; vlaanderen.be 2011).

22. Bois de structure - Généralités

La construction en ossature bois doit être conforme aux prescriptions de l'Eurocode 5 : *Conception et calcul de la construction en ossature bois*. La paille ne contribue pas à la stabilité du bâtiment. Le bois de structure doit posséder une bonne durabilité. Pendant la construction, le bois ne doit pas être exposé à une humidification excessive ou prolongée due aux mauvaises conditions météorologiques, par exemple. La teneur en humidité en masse des bois de structure et des panneaux supports doit être inférieure ou égale à 18 % au moment de la mise en œuvre des finitions (CSTC et Lignian 2018; SPF Economie 2015; CSTC 2013a).

23. Pose d'une lisse basse de nivellement sur la couche de nivellement en mortier anti-retrait

Nivellement de la lisse, compensation des inégalités des membranes sous-jacentes grâce au chevauchement des membranes.

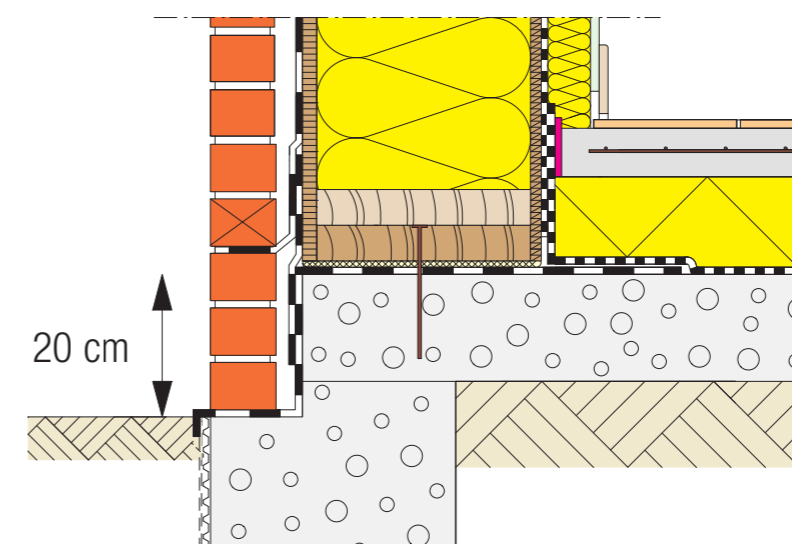
➔ remplir l'espace entre les joints de mortier non rétractile + 30 cm au-dessus du sol extérieur (CSTC et Lignian 2018; CSTC 2013a; SPF Economie 2015)

24. Lisse basse de nivellement

L'ancrage des parois verticales aux fondations est assuré par la fixation continue des lisses basses sur les fondations en béton à l'aide de goujons d'ancrage par exemple.

La lisse de nivellement doit avoir une classe de durabilité d'au moins 1 ou 2. Elle doit disposer d'une protection contre les insectes et, si nécessaire, un traitement de préservation fongicide.

Les irrégularités sous la lisse de nivellement sont remplies de mortier anti-retrait (SPF Economie 2015; CSTC 2013a).



25. Membrane d'étanchéité à l'air

Afin d'assurer l'étanchéité à l'air sur la face intérieure du pied du mur, une membrane d'étanchéité à l'air est installée. Celle-ci assure l'étanchéité à l'air et à la vapeur entre la dalle de béton et l'étanchéité de la paroi (CSTC, Mees, et Loncour 2015).

26. Lisse basse

Une lisse basse est placée sur la lisse de nivellement pour ancrer les parois verticales. La lisse basse doit avoir la même durée de vie que la lisse de nivellement (SPF Economie 2015).

27. Montants

Afin d'optimiser la performance thermique du bâtiment, nous recommandons de ne pas laisser les montants de l'ossature bois traverser toute l'épaisseur de la structure. Dans la réglementation PEB, les bottes de paille sont calculées avec une valeur lambda de 0,06W/mK ou 0,08W/mK, mais ont une valeur d'isolation réelle qui peut atteindre 0,048W/mK. Le bois de structure possède une valeur lambda de 0,13W/mK et peut être considéré comme un pont thermique. Pour l'optimiser, un panneau prêt à l'enduisage avec de meilleures propriétés thermiques est placé devant la structure en bois. Par ex. liège expansé ($\lambda = 0,043\text{W/mK}$) (DIBt et Baustroh 2017; CSTC 2013b).

28. Rigidification

Dans cet exemple, la rigidité de la structure est réalisée à l'aide de feuillards métalliques, tels que décrits dans le STS 23-1 Constructions en ossature bois, conformément aux directives de l'Eurocode 5 (CSTC et Lignian 2018; CSTC, Skowron, et Parmentier 2011).

29. Installation du profilé de socle

Un profilé de socle est placé au pied de l'enduit avec un treillis d'armature enduisable et un larmier évacuant l'eau qui s'écoule de la façade.

Le profilé de socle est fixé mécaniquement à la lisse de nivellement et protège le dessous de l'isolant des nuisibles (CSTC et al. 2016; CSTC et Lignian 2018).

30. Installation d'un isolant rigide support d'enduit (par ex. liège)

Pour optimiser la performance thermique du bâtiment, un isolant rigide support d'enduit est ancré mécaniquement à l'ossature bois (CSTC et al. 2016).

31. Grillage anti-rongeur

L'installation de grillage anti-rongeur au pied de la paroi enduite est une pratique courante. Selon la NIT 257, la protection contre les rongeurs est fournie par le profilé de départ. Pour obtenir une protection supplémentaire, la hauteur de la reprise de l'enduit doit être d'au moins 30 cm au-dessus du niveau du sol fini.

L'installation du grillage anti-rongeur au pied de l'enduit extérieur sort du cadre référentiel belge actuel. Cela n'est pas non plus mentionné dans les règles professionnelles françaises.

32. Isolant en bottes de paille - Généralités

Les bottes de paille servant de remplissage isolant non-traité et de support d'enduit sortent du cadre référentiel belge actuel. Nous tenons à souligner que, dans ce détail constructif, la paille n'est utilisée que comme matériau de remplissage isolant thermique et acoustique et comme support d'enduit. L'utilisation de la paille pour une application structurelle ne fait pas l'objet de ce document.

Pour les points qui ne font pas l'objet d'un cadre référentiel belge, nous renvoyons à la publication française du RFCP : « Règles professionnelles de construction en paille - Remplissage isolant et support d'enduit - Règles CP 2012 révisées » (RFCP 2018) ou à sa traduction néerlandaise : « Professionele regels voor strobouw - gebruik van stro als isolerend vulmateriaal en als drager voor pleisterwerk » y compris ses procédures de contrôle et de validation.

33. Contrôle de l'état avant installation

Avant de réaliser les travaux pour la construction en paille, la procédure de contrôle de qualité pour l'exécution de ces travaux doit être réalisée conformément à l'annexe A2 de la publication française « Règles professionnelles de construction en paille », (RFCP 2018) et sa traduction « Professionele regels voor strobouw ».

34. Contrôle des bottes de paille

Lors de la réception des bottes de paille (et de préférence lors de leur installation dans la structure), les bottes de paille doivent être contrôlées selon la procédure de contrôle de l'annexe A1 de la publication française « Règles professionnelles de construction en paille », (RFCP 2018) et sa traduction « Professionele regels voor strobouw ».

Le premier contrôle des bottes de paille a lieu lors de la livraison sur chantier. Il est effectué afin que le fabricant des bottes de paille puisse s'assurer que les bottes livrées répondent aux exigences de qualité (humidité, densité, etc.)

En contrôlant les bottes de paille juste avant qu'elles ne soient installées dans la structure, le fournisseur des bottes de paille peut s'assurer qu'aucune humidité n'a pénétré dans les bottes de paille lors du stockage sur le chantier.

La procédure de contrôle de la densité, des dimensions et de la planéité est reprise dans les règles professionnelles. La mesure du taux d'humidité d'une botte de paille doit être effectuée au centre de la botte à l'aide d'un hygromètre étalonné conforme à la norme « NEN-EN 13183-2:2002 Teneur en humidité d'une pièce de bois scié ».

La procédure qualité développée dans le cadre du programme Interreg UP STRAW se base sur la procédure française et peut être utilisée pour valider la paille. Fichier est disponible dans les ressources du Réseau belge francophone de la construction paille : www.rbfcp.be.

35. Mise en oeuvre des bottes de paille

Les bottes de paille doivent être installées selon les directives de la publication française « Règles professionnelles de construction en paille » (RFCP 2018) et sa traduction « Professionele regels voor strobouw ». Il n'existe actuellement aucune directive belge agréée pour l'installation et le contrôle des bottes de paille. Il est possible de se référer aux procédures issues des règles CP2012 ou de la procédure qualité belge élaborée par le projet Interreg UP STRAW disponible dans les ressources du Réseau belge francophone de la construction paille : www.rbfcp.be.

36. Règle de compression

La compression des bottes est décrite dans les directives de la publication française « Règles professionnelles de construction en paille » (RFCP 2018) et sa traduction « Professionele regels voor strobouw ».

37. Remplissage des cavités

Les bottes de paille sont placées de sorte qu'aucune cavité n'est laissée vide. Si nécessaire, les éventuelles cavités sont remplies d'un matériau isolant dont les propriétés thermiques et mécaniques sont proches de celles de la botte de paille (paille en vrac, laine, plaques de paille, mortier léger, etc.) Le remplissage et la paille doivent former un ensemble cohérent.

38. Redressement de surface des bottes de paille à enduire

Pour limiter l'épaisseur d'enduit, les surfaces à enduire sont redressées.

Les travaux sont effectués à l'aide d'outils adaptés, tels qu'une scie alligator, un taille-haie, une débroussailluse, etc.

39. Contrôle après installation

Pendant et après l'installation des bottes de paille, la qualité de l'exécution est contrôlée à l'aide des procédures issues du règlement CP2012 ou de la procédure qualité belge élaborée par le projet Interreg UP STRAW disponible dans les ressources du Réseau belge francophone de la construction paille : www.rbfcp.be.

40. Enduit extérieur – Généralités

La note d'information technique NIT 257 (CSTC et al. 2016) indique que les panneaux supports de l'ETICS (enduit) doivent être résistants à l'humidité et, à base de bois, appartenir au moins à la classe de climat intérieur 2 ou 3. Pour l'instant, il n'existe pas d'Agréments Techniques (ATG) en Belgique pour les systèmes de protection à barrière unique d'étanchéité tels que l'enduit extérieur sur les bottes de paille ou la construction à ossature bois. Par conséquent, les bottes de paille en tant que support de l'enduit extérieur ne font pas partie du cadre référentiel belge.

Une variante de réalisation de finition en enduit est envisageable : un système de joint à double barrière constitué de plaques de revêtement de façade derrière lesquelles une cavité est prévue (CSTC, Grégoire, et Godderis 2009; CSTC 2014a). Afin d'éviter les risques de fissuration, le système doit être entièrement (plaques + enduit) testé.

La solution proposée ci-dessus est recommandée pour les façades qui sont fortement soumises aux pluies battantes. En Belgique, ce sont les façades avec une orientation sud-sud-ouest et ouest-sud-ouest qui sont les plus exposées aux fortes pluies (Energie Plus Le Site 2010). Des calculs spécifiques basés sur les vitesses de vent de référence et sur les catégories de rugosité du terrain peuvent être effectués en fonction de l'Eurocode 1 : Actions sur les structures Partie 1-4 : Actions générales – Actions du vent et son annexe nationale belge, la norme NBN EN 1991-1-4 ANB avec les données des précipitations locales (NBN 2005).

En raison de l'absence de cadre référentiel, nous indiquons que les choix architecturaux, tels qu'un débord (de toit) suffisamment important, réduisent considérablement l'humidification de la façade.

Pour les points qui ne font pas l'objet d'un cadre référentiel belge, nous renvoyons à la publication française du RFCP : « Règles professionnelles de construction en paille - Remplissage isolant et support d'enduit - Règles CP 2012 révisées » (RFCP 2018) et à sa traduction néerlandaise : « Professionele regels voor strobouw - gebruik van stro als isolerend vulmateriaal en als drager voor pleisterwerk » y compris ses procédures de contrôle et de validation.

41. Enduit extérieur – Chaux – Étape 1 : Couche d'adhérence

Afin de protéger la paille contre les intempéries, la première couche d'enduit extérieur est posée dès que possible après l'installation des bottes de paille et de la menuiserie extérieure.

En raison de l'absence de cadre référentiel belge pour l'enduit sur paille, nous renvoyons aux dispositions de la publication française « Règles professionnelles de construction en paille » (RFCP 2018) et à sa traduction « Professionele regels voor strobouw » ainsi qu'aux dispositions du chapitre 6, annexes A3 et A4 pour l'exécution et la validation des travaux. »

42. Placer les techniques spéciales à l'intérieur

En ce qui concerne les équipements électriques, le RGIE (SPF Economie 2020) précise que l'installation électrique doit être protégée par une protection dont l'efficacité est assurée par sa stabilité et sa résistance... compte tenu des influences auxquelles ces protections sont généralement exposées. Elles ne doivent être ouvertes ou retirées qu'à l'aide d'outils ou de clés.

L'installation des techniques spéciales dans la paille n'a pas été testée contre l'arrachement et peut donc être considérée comme défectueuse puisqu'elle ne garantit pas le bon fonctionnement et, dans le pire des cas, peut même causer des dommages au bâtiment.

Pour s'inscrire dans le cadre référentiel, les techniques spéciales doivent être compatibles avec leur support (par ex. à une plaque penchée vers la construction en ossature bois).

Les câbles qui se trouvent aux endroits où de la condensation peut se former doivent être isolés. Si un matériau isolant étanche à la vapeur est utilisé, il doit être installé avec soin et les joints doivent être collés de manière étanche à la vapeur. Si des matériaux isolants perméables à la vapeur, tels que la laine minérale, sont utilisés, un pare-vapeur doit être installé (CSTC et Bleys 2011).

Un autre mode d'exécution peut consister à installer les techniques spéciales dans les cloisons intérieures qui ne sont pas faites de paille, ou en saillie, ou incorporé dans les meubles.

43. Sol – couche de nivellement

Afin de compenser les inégalités du plancher portant en béton et des techniques spéciales et d'obtenir une surface plane pour l'installation de l'isolation du sol, une couche de nivellement est placée sur le plancher portant en béton (CSTC 1994; CSTC et Van Laecke 1993; CSTC, Wijnants, et Arts 2017).

44. Sol – membrane étanche

Pour les planchers sur terre-plein, des membranes anticapillaires doivent être installées sur et sous le matériau isolant pour ralentir la migration de l'humidité et limiter le risque d'humidification directe (CSTC et Legrand 1983; CSTC, Wagneur, et Vandooren 2007).

45. Sol – Isolation du sol

Une couche isolante est installée entre la couche de nivellement et la chape conformément aux exigences de performance énergétique en vigueur. L'isolant est placé sur une surface plane. L'isolation de bord est installée aux bords pour que la chape flottante puisse être installée et qu'aucun contact ne soit possible avec les éléments de construction adjacents (CSTC et Van Laecke 1993; CSTC 1994).

46. Sol – Couche de protection de l'isolant

La couche d'isolant est pourvue d'une couche de protection pour empêcher l'humidité ou la laitance de la chape de pénétrer dans l'isolant. Cette couche de protection anticapillaire est placée derrière la plinthe, à 4 cm au-dessus des parois en bottes de paille, afin que l'humidité ne pénètre pas dans les parois en bottes de paille en cas d'inondation dans le bâtiment.

47. Sol – Chape flottante

La chape est placée de manière flottante conformément aux directives en vigueur (CSTC et Van Laecke 1993; CSTC 1994).

48. Paroi – enduit intérieur – enduit à l'argile – Généralités

Afin d'éviter les dégradations de la construction, il est impératif que l'étanchéité à l'air de la structure soit parfaitement traitée (CSTC, Mees, et Loncour 2015). Puisqu'une paroi en bottes de paille ne peut être considérée comme étanche à l'air, l'enduit peut assurer cette étanchéité.

Afin d'éviter les fissures et les craquelures, il faut accorder une attention suffisante à l'installation de trame de renforcement, au processus de séchage et au raccordement étanche à d'autres éléments. Si des exigences strictes d'étanchéité à l'air s'appliquent, une épaisseur d'enduit d'au moins 30 mm est requise (CSTC et Firket 2010; CSTC et Van Laecke 1996a; 1996b).

En Belgique, il n'existe pas encore d'Agréments techniques (ATG) pour les enduits à l'argile et à la chaux des bottes de paille ou de la construction à ossature bois. Cette mise en œuvre ne ressort donc pas actuellement du cadre référentiel belge. Toutefois, les caractéristiques et performances générales peuvent être déterminées en utilisant les méthodes de test des normes des autres types d'enduit.

Pour les points qui ne font pas l'objet d'un cadre référentiel belge, nous renvoyons à la publication française du RFCP : « Règles professionnelles de construction en paille - Remplissage isolant et support d'enduit - Règles CP 2012 révisées » (RFCP 2018) et à sa traduction néerlandaise : « Professionele regels voor strobouw - gebruik van stro als isolerend vulmateriaal en als drager voor pleisterwerk » y compris ses procédures de contrôle et de validation.

49. Enduit intérieur – enduit à l'argile : Contrôle avant le début des travaux

Les surfaces (rectitude, planéité, cohésion, adhérence, etc.), les niveaux prescrits, la conformité et la composition de l'enduit doivent être contrôlés par l'exécutant avant l'exécution des travaux (CSTC 2013a; CSTC, Mees, et Loncour 2015; CSTC et Firket 2010).

50. Enduit intérieur – enduit à l'argile : Couche d'adhérence

Afin de protéger la paille, la première couche d'enduit intérieur est posée dès que possible après l'installation des bottes de paille et de la menuiserie extérieure.

La première couche d'accroche pénètre au moins de 5 mm à l'intérieur des bottes de paille (RFCP 2018).

51. Enduit intérieur – enduit à l'argile : Couches supérieures : Contrôle avant le début des travaux

Avant l'installation des couches de finitions, les éventuelles fissures sont ouvertes et réparées (RFCP 2018).

52. Enduit intérieur – enduit à l'argile : Couche de corps

Un treillis anti-fissuration général est prévu dans la couche d'enduit pour limiter la formation de fissures due aux mouvements hydriques de la surface (RFCP 2018).

53. Enduit intérieur – enduit à l'argile : Finitions

Les techniques traditionnelles sont utilisées pour appliquer la deuxième et la troisième couche d'enduit (RFCP 2018; CSTC et Van Laecke 1996b).

54. Enduit intérieur – enduit à l'argile – Contrôle de qualité après les travaux

L'étanchéité à l'air des parois est vérifiée, en particulier la présence de fissures dans l'enduit à la surface et au niveau du raccordement à d'autres éléments (RFCP 2018).

55. Enduit extérieur – Chaux : Couches supérieures : Contrôle avant le début des travaux

Avant l'installation de la couche de finition, les éventuelles fissures sont ouvertes et réparées (RFCP 2018).

56. Enduit extérieur – Chaux : Couche de corps

Un treillis d'armature général est prévu dans la couche d'enduit pour limiter la formation de fissures due aux mouvements hydriques de la surface (RFCP 2018; CSTC et Van Laecke 1996b).

57. Enduit extérieur – Chaux : Finitions

Les techniques traditionnelles sont utilisées pour appliquer la deuxième et la troisième couche d'enduit (RFCP 2018).

58. Enduit extérieur – Chaux - Contrôle de qualité après les travaux

L'étanchéité à la pluie et au vent des parois est vérifiée, en particulier la présence de fissures et de crevasses dans l'enduit à la surface et au niveau du raccordement à d'autres éléments (RFCP 2018).

59. Revêtement du sol

Le revêtement du sol est appliqué conformément aux instructions du fabricant.

60. Plinthe

En plaçant la plinthe, il faut tenir compte du fait que la membrane anticapillaire destinée à protéger le mur en paille n'est pas endommagée et est installée à une hauteur d'au moins 4 cm derrière la plinthe. La plinthe doit être ancrée à une surface stable sur au moins la moitié de la hauteur de la plinthe (CSTC et al. 2013; CSTC et Charron 2019; 2020).

61. Peintures intérieures

Lors de la finition des parois, l'enduit à l'argile sans additif ni peinture peut être réutilisé pour d'autres applications. L'enduit à l'argile contaminé doit être éliminé en cas de démolition.

8. RESSOURCES

Base de données dédiée à la construction en paille

La base de données établie dans le cadre d'UP STRAW comprend plus de 400 références de tout type sur la construction en paille.

<https://rbfcpaille.wixsite.com/website/biblioth%C3%A8que>

Livres

- ▶ **Règles Professionnelles de la construction en paille Remplissage isolant et support d'enduit - Règles CP 2012 révisées, 3ème édition – avril 2018**
https://www.rfcp.fr/librairie/regles-professionnelles-de-construction-en-paille-v3/?doing_wp_cron=1600441946.2364809513092041015625
- ▶ **La construction en paille. Principes fondamentaux - Techniques de mises en œuvre - Exemples de réalisations**
<https://boutique.terrevivante.org/librairie/livres/2612/techniques-de-pro/1663-la-construction-en-paille.htm>
- ▶ **Techniques de construction en paille**
<https://www.eyrolles.com/BTP/Livre/techniques-de-construction-en-paille-9782212138092/>
- ▶ **Construire son habitation en paille selon la technique du GREB**
<http://dev.approchepaille.fr/livre-officiel/>
- ▶ **Straw bale Construction manual**
 Straw bale Construction manual est un livre rédigé en anglais par deux experts allemands de l'éco-construction et de la performance énergétique des bâtiments.
 La première partie du livre concerne les principes de la construction en paille, les chapitres introductifs dédiés à l'historique sont bien documentés, le livre aborde ensuite les sujets classiques relatifs à la construction : techniques, performances techniques et environnementales, gestion du transfert de vapeur et des ponts thermiques, ...
 Les références scientifiques, techniques et normatives sont essentiellement allemandes mais le livre propose des explications compréhensibles détaillées ainsi que des détails graphiques richement illustrés.
 Le livre est plutôt axé sur la maison individuelle et l'auto-construction mais les exemples de bâtiment qui représentent presque la moitié du livre proviennent de tout type de bâtiments un peu partout dans le monde.
https://issuu.com/birkhauser.ch/docs/straw_bale_construction_manual

Etudes APROpaille

L'ULg (Liège et Gembloux), l'UCL, l'entreprise «Paille-Tech» et l'ICEDD, avec le soutien financier du SPW, se sont réunis (2017) autour d'une recherche consacrée à la valorisation de la paille comme élément de construction: aPROpaille.

<https://energie.wallonie.be/fr/la-paille-un-vrai-matériau-d-isolation-de-vos-constructions.html?IDC=9616&IDD=126987>

Réseaux professionnels

Belgique :

- ▶ Le Cluster Eco-construction - www.ecoconstruction.be
- ▶ Le Réseau Belge francophone de la Construction en Paille - www.rbfcp.be
- ▶ Strobouw Vlaanderen (social networks) :
<https://www.facebook.com/strobouwvlaanderen/>
<https://twitter.com/strobouwv>
<https://www.linkedin.com/company/strobouw-vlaanderen/>

France :

- ▶ Le Réseau Français de la Construction Paille - www.rfcp.fr
- ▶ Le Centre National de la Construction Paille - <http://cncp-feuillette.fr/>
- ▶ CD2E (Centre de Développement des Eco-entreprises) - <http://www.cd2e.com/>

Pays-bas :

- ▶ <https://strobouw.nl/>

Europe :

- ▶ European Straw Building Association (ESBA) - <http://www.strawbuilding.eu/>

Bibliographie

- ▶ Architecture et Climat. 2010. « Elaboration d'un outil d'aide à la conception de maisons à très basse consommation d'énergie ». 2010. https://energie.wallonie.be/servlet/Repository/ecobilan_de_parois_annexes%5b1%5d.pdf?IDR=14391.
- ▶ Bâtiments à Énergie Positive et Réduction Carbone. 2020. « Bâtiments à Énergie Positive et Réduction Carbone ». 2 septembre 2020. <http://www-maj.batiment-energiecarbone.e2.rie.gouv.fr>.
- ▶ Centre National du Bruit. 2017. « guide-cnb-6-reglementations-acoustiques-batiments-novembre 2017.pdf ». 2017. <https://www.bruit.fr/images/stories/pdf/guide-cnb-6-reglementations-acoustiques-batiments-novembre%202017.pdf>.
- ▶ CIFFUL. 2013. « Le point sur l'étanchéité à l'air ». 2013. http://www.cifful.ulg.ac.be/images/stories/point_sur_etancheite_air_28.05.13.pdf.
- ▶ CSTC. 1994. « Choix d'une chape - CSTC Digest n°2 ». Centre Scientifique et Technique de la Construction. 1994. <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=search&id=CSTC25012>.
- . 2008a. « CSTC Contact 4/2008 ». 2008. https://www.cstc.be/homepage/download.cfm?lang=fr&dtype=bbricontact&doc=Contact_fr_04_2008.pdf.
- . 2008b. « Maîtriser la qualité des produits et systèmes de construction », 16.
- . 2010. « Capacité thermique des isolants et risque de surchauffe CSTC-Contact ». Centre Scientifique et Technique de la Construction. 2010. <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact27&art=415&lang=fr>.
- . 2013a. « CSTC Contact 2013/1 Edition spéciale : la construction en bois ». <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact>.
- . 2013b. « Dimensionnement et assemblage - Les Dossiers du CSTC 2013/1.7 ». Centre Scientifique et Technique de la Construction. 2013. <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=search&id=WTCB00001287>.
- . 2014a. « ETICS sur ossature en bois - CSTC-Contact 2014/1 ». Centre Scientifique et Technique de la Construction. 2014. <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact44&art=663>.
- . 2014b. « Les pieds de mur étanches à l'eau et bien isolés, mais aussi accessibles pour tous « CSTC-Contact 2014/01.06 ». Centre Scientifique et Technique de la Construction. 2014. <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact41&art=627>.
- ▶ CSTC, et Bleys. 2011. « Risque de condensation sur les conduites d'évacuation d'eau situées à l'intérieur des bâtiments - CSTC-Contact 2011/03.16 ». Centre Scientifique et Technique de la Construction. 2011. <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact31&art=481>.
- CSTC, et Charron. 2019. « NIT 269 - Revêtements de sol en bois : planchers, parquets et revêtements de sol à placage Partie 1 : matériaux, terminologie et exigences - Notes d'information technique • CSTC ». Centre Scientifique et Technique de la Construction. 2019. <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=search&id=REF00011379>.
- . 2020. « NIT 272 - Revêtements de sol en bois : planchers, parquets et revêtements de sol à placage Partie 2 : mise en oeuvre - Notes d'information technique • CSTC ». Centre Scientifique et Technique de la Construction. 2020. <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=search&id=REF00012374>.
- ▶ CSTC, et Dobbels. 2006. « Construction à ossature en bois : un système en plein essor - Les Dossiers du CSTC • CSTC ». Centre Scientifique et Technique de la Construction. 2006. <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=search&id=CSTC80714>.
- ▶ CSTC, et Firket. 2010. « Le séchage des enduits intérieurs 2010/04.11 CSTC-Contact n°28 ». Centre Scientifique et Technique de la Construction. 2010. <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact28&art=429&lang=fr>.

- ▶ CSTC, Gerard, et Guyon de Montlivault. 1983. « NIT 146 - Les revêtements extérieurs verticaux en matériaux pierreux naturels de mince épaisseur - Notes d'information technique • CSTC ». Centre Scientifique et Technique de la Construction. 1983. <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=search&id=CSTC3013>.
- ▶ CSTC, et Grégoire. 2011. « CSTC-Contact n° 32 (4-2011) • CSTC ». Centre Scientifique et Technique de la Construction. 2011. <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact32>.
- ▶ CSTC, Gregoire, Dirkx, et Smits. 2016. « NIT 257 - Enduits sur isolation extérieure - Notes d'information technique • CSTC ». Centre Scientifique et Technique de la Construction. 2016. <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=search&id=REF00008529>.
- ▶ CSTC, Grégoire, et Godderis. 2009. « ETICS : l'enduit - CSTC-Contact 2009/04.11 ». Centre Scientifique et Technique de la Construction. 2009. <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact24&art=360&lang=fr>.
- ▶ CSTC, Grégoire, Mees, et Vangheel. 2013. « Etanchéité à l'air et conséquences pour le carreleur - CSTC-Contact n°39 2013/03.09 ». Centre Scientifique et Technique de la Construction. 2013. <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact39&art=598>.
- ▶ CSTC, et (C.) Legrand. 1983. « NIT 147 - Fondations de maisons Guide pratique pour la conception et l'exécution des fondations de constructions petites et moyennes - Notes d'information technique • CSTC ». Centre Scientifique et Technique de la Construction. 1983. <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=search&id=CSTC9154>.
- ▶ CSTC, et M. Lignian. 2018. « ETICS sur constructions à ossature en bois : raccord en pied de mur - Les Dossiers du CSTC • CSTC ». Centre Scientifique et Technique de la Construction. 2018. <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=search&id=REF00010665>.
- ▶ CSTC, et Mahieu. 2004. « Infiltrations d'eau au pied des murs creux - Infofiche 7 • CSTC ». Centre Scientifique et Technique de la Construction. 2004. <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=search&id=CSTC69657>.
- ▶ CSTC, Mees, et Loncour. 2015. « NIT 255 - L'étanchéité à l'air des bâtiments - Notes d'information technique • CSTC ». Centre Scientifique et Technique de la Construction. 2015. <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=search&id=REF00007429>.
- ▶ CSTC, Skowron, et Parmentier. 2011. « Constructions à ossature en bois 1e partie : contreventement des murs porteurs - Les Dossiers du CSTC • CSTC ». Centre Scientifique et Technique de la Construction. 2011. <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=search&id=CSTC104086>.
- ▶ CSTC, Van Ginderachter, et Parmentier. 2004. « L'étanchéité des dalles de béton aux liquides » CSTC-Contact • CSTC ». Centre Scientifique et Technique de la Construction. 2004. <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact4&art=59&lang=fr>.
- ▶ CSTC, et Van Laecke. 1993. « NIT 189 - Les chapes pour couvre-sols 1ère partie : Matériaux - Performances - Réception - Notes d'information technique • CSTC ». Centre Scientifique et Technique de la Construction. 1993. <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=search&id=CSTC17927>.
- . 1996a. « NIT 199 - Les enduits intérieurs 1ère partie - Notes d'information technique • CSTC ». Centre Scientifique et Technique de la Construction. 1996. <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=search&id=CSTC30346>.
- . 1996b. « NIT 201 - Les enduits intérieurs 2e partie : Mise en oeuvre - Notes d'information technique • CSTC ». Centre Scientifique et Technique de la Construction. 1996. <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=search&id=CSTC31982>.
- ▶ CSTC, Wagneur, et Vandooren. 2007. « Isolation thermique des planchers lourds - CSTC Contact n°14 ». Centre Scientifique et Technique de la Construction. 2007. <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact14&art=215>.
- ▶ CSTC, et V. Whenham. 2006. « Principes relatifs à l'exécution des fouilles - Les Dossiers du CSTC • CSTC ». Centre Scientifique et Technique de la Construction. 2006. <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=search&id=CSTC81665>.
- ▶ CSTC, Wijnants, et Arts. 2017. « NIT 264 - Détails de référence pour les murs creux - Notes d'information technique • CSTC ». Centre Scientifique et Technique de la Construction. 2017. <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=search&id=REF00010135>.
- ▶ DIBt, et Baustroh. 2017. « ETA-17/0247 Handelsbezeichnung: "Baustroh". Produktfamilie: Wärmedämmstoff aus Strohballen ». DIBt. 2017. <https://www.dibt.de/de/service/zulassungsdownload/detail/eta-170247>.
- ▶ Energie Plus Le Site. 2007. « Évaluer le confort thermique ». Energie Plus Le Site (blog). 25 septembre 2007. <https://energieplus-lesite.be/evaluer/confort-thermique7/evaluer-le-confort-thermique-d1/>.
- . 2010. « Pluies ». Energie Plus Le Site (blog). 12 août 2010. <https://energieplus-lesite.be/theories/climat8/pluies-d3/>.
- ▶ energiesparen.be. s. d. « Basisregel 2 ». energiesparen.be. Consulté le 22 janvier 2021a. /EPB-pedia/bouwknopen/EPB-aanvaard/basisregel-2.
- . s. d. « Isolatielaag bij het beoordelen van bouwknopen ». energiesparen.be. Consulté le 22 janvier 2021b. /EPB-pedia/bouwknopen/isolatielaag.
- ▶ energie.wallonie.be. 2015. « Nœuds constructifs ». Site énergie du Service Public de Wallonie. 2015. <https://energie.wallonie.be/fr/noeuds-constructifs.html?IDC=9475&IDD=97779>.
- . s. d. « Les exigences PEB - Site énergie du Service Public de Wallonie ». Consulté le 30 septembre 2020. <https://energie.wallonie.be/fr/exigences-peb.html?IDC=9136>.
- ▶ FEBECEL, Jos, et Ingelaere. 2017. « FEBECEL - Belgische Federatie Cellenbeton - Fédération belge Béton Cellulaire ». 2017. <http://www.febecel.be/fr/mantech.php>.
- ▶ Formawood. 2014. « 2- Systèmes constructifs ». 2014. <https://www.formawood.eu/fr/publications/publication/10:systemes-constructifs>.
- . 2019a. « Fiche technique - Confort acoustique des constructions bois ». 2019. <https://www.formawood.eu/fr/publications/publication/34:fiche-acoustique>.
- . 2019b. « Fiche Technique - Sécurité incendie dans les constructions en bois ». 2019. <https://www.formawood.eu/fr/publications/publication/43:fiche-technique-securite-incendie-dans-les-constructions-en-bois>.
- ▶ Gadret, Laurent. 2017. « La paille porteuse en Architecture. Quels enjeux et quelles potentialités réelles de cette technique constructive? » 2017. <https://omeka.archives.archi.fr/files/original/192e330c5628e1865903f40c8a4c89d0.pdf>.
- ▶ ICEB. 2012. « LA VENTILATION NATURELLE ET MECANIQUE ». ICEB (blog). 2012. <https://www.asso-iceb.org/document/guide-biotech-ventilation-naturelle-et-mecanique/>.
- ▶ juri-logement.org. s. d. « Arrêté du 24 mai 2006 relatif aux caractéristiques thermiques des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments ». Consulté le 30 septembre 2020. http://www.juri-logement.org/les_textes/ARRETES/2006/mai/a-24mai2006.htm.
- ▶ Légifrance. s. d. « Arrêté du 28 décembre 2012 relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments autres que ceux concernés par l'article 2 du décret du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des constructions - Légifrance ». Consulté le 30 septembre 2020. <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000026871753/2020-09-30/>.
- ▶ Milési, Guillaume, Luc Floissac, et Nicolas Canzian. s. d. « Cahier de ponts thermiques de parois isolées en paille. », 98.

- ▶ Ministère de la transition écologique. s. d. « Acoustique et bâtiment ». Ministère de la Transition écologique. Consulté le 20 novembre 2020a. <https://www.ecologie.gouv.fr/acoustique-et-batiment>.
- . s. d. « Confort et qualité d'usage dans les bâtiments ». Ministère de la Transition écologique. Consulté le 30 septembre 2020b. <https://www.ecologie.gouv.fr/confort-et-qualite-dusage-dans-batiments>.
- ▶ NBN. 2005. « NBN EN 1991-1-4 : Eurocode 1 : Actions sur les structures - Partie 1-4: Actions générales - Actions du vent ». Centre Scientifique et Technique de la Construction. 2005. https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=services&sub=standards_regulations&pag=list&art=search&id=CSTC96634.
- ▶ Office fédéral de l'énergie. 2002. « Catalogue d'éléments de construction avec calcul de la valeur U. Construction neuve ». 2002. https://www.vd.ch/fileadmin/user_upload/themes/environnement/energie/fichiers_pdf/catalogue_elements_neufs.pdf.
- ▶ passivehouse.com. s. d. « Detail View of Strohhallen-Bohlenständerbau Putz-Putz ». Consulté le 27 janvier 2021. https://database.passivehouse.com/en/components/details/construction_system/benediktinerabtei-plankstetten-im-interreg-projekt-up-straw-strohballen-bohlenstanderbau-putz-putz-1513cs03.
- ▶ RFCP. 2018. Règles professionnelles de construction en paille (édition 2018). <https://www.rfcp.fr/librairie/regles-professionnelles-de-construction-en-paille-v3/>.
- ▶ SPF Economie. 2015. « STS 23-1 Constructions en ossature bois ». 17 août 2015. <https://economie.fgov.be/sites/default/files/Files/Publications/files/STS/STS-23-1-Ossature-bois.pdf>.
- . 2020. « Règlement général sur les installations électriques (RGIE) - Livres 1, 2 et 3 | SPF Economie ». 28 mai 2020. <https://economie.fgov.be/fr/publications/reglement-general-sur-les>.
- ▶ SPW guide PEB. s. d. « Guide PEB 2018 - 08.33 Nœuds constructifs ». Site énergie du Service Public de Wallonie. Consulté le 22 janvier 2021a. https://energie.wallonie.be/fr/08-33-noeuds-constructifs.html?IDC_PEB=9652&IDD=136584&IDC=9807.
- . s. d. « Guide PEB 2018 - 08.36 Nœuds constructifs | Méthode PEB conformes – Option B ». Site énergie du Service Public de Wallonie. Consulté le 22 janvier 2021b. https://energie.wallonie.be/fr/08-36-noeuds-constructifs-methode-peb-conformes-option-b.html?IDC_PEB=9652&IDD=136588&IDC=9807.
- ▶ Tilmans, Antoine. 2017. « Conception hygrothermique des parois – PARTIE 2 », 13.
- ▶ vlaanderen.be. 2011. « Technisch vademecum paden en verhardingen. Harmonisch groen- en... ». [www.vlaanderen.be. 2011. https://www.vlaanderen.be/publicaties/technisch-vademecum-paden-en-verhardingen-harmonisch-groen-en-parkbeheer](https://www.vlaanderen.be/publicaties/technisch-vademecum-paden-en-verhardingen-harmonisch-groen-en-parkbeheer).

En partenariat avec :



Avec le soutien financier de :



Avec le soutien du Fonds européen de développement régional