



JUMELAGE Eco-Construction

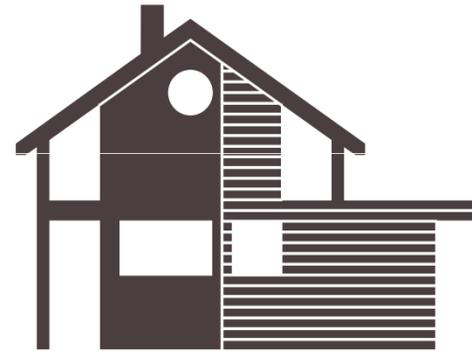


Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE
DE L'ÉGALITÉ
DES TERRITOIRES
ET DU LOGEMENT

MINISTÈRE
DE L'ÉCOLOGIE,
DU DÉVELOPPEMENT
DURABLE
ET DE L'ÉNERGIE

Thermique de l'enveloppe et matériaux d'isolation



CETE Méditerranée

Nicolas Cabassud

Bruno Cornen

TUNIS

11-12 Mars 2013

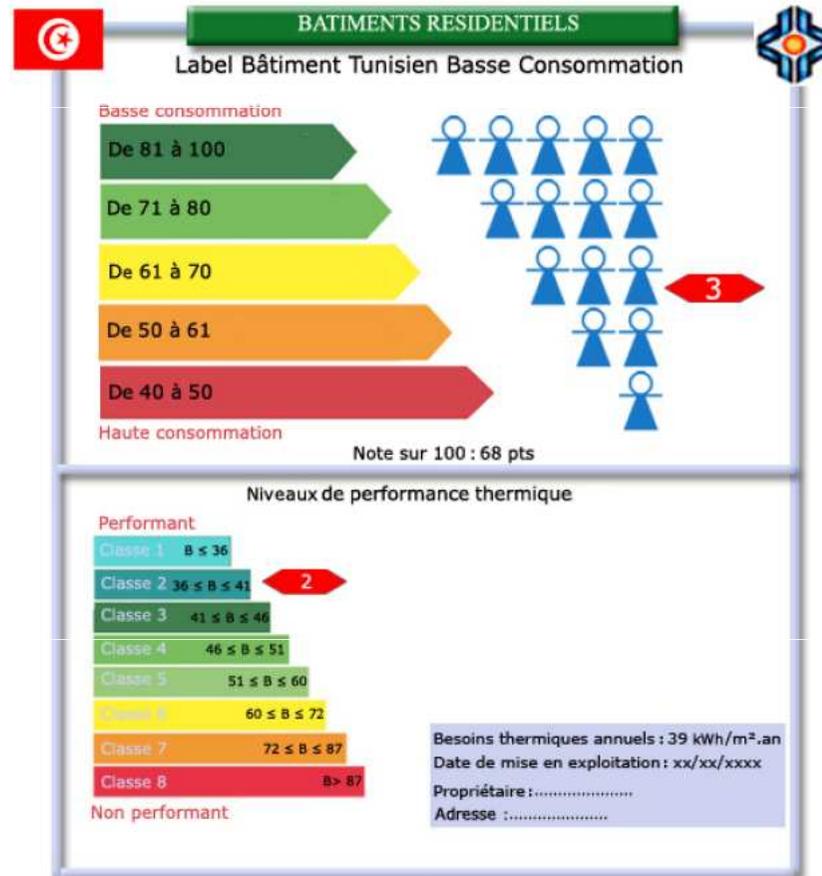
Resources, territoires et travaux
Énergie et climat
Prévention des risques
Développement durable
Infrastructures, transports et mer

Présent
pour
l'avenir

Contexte

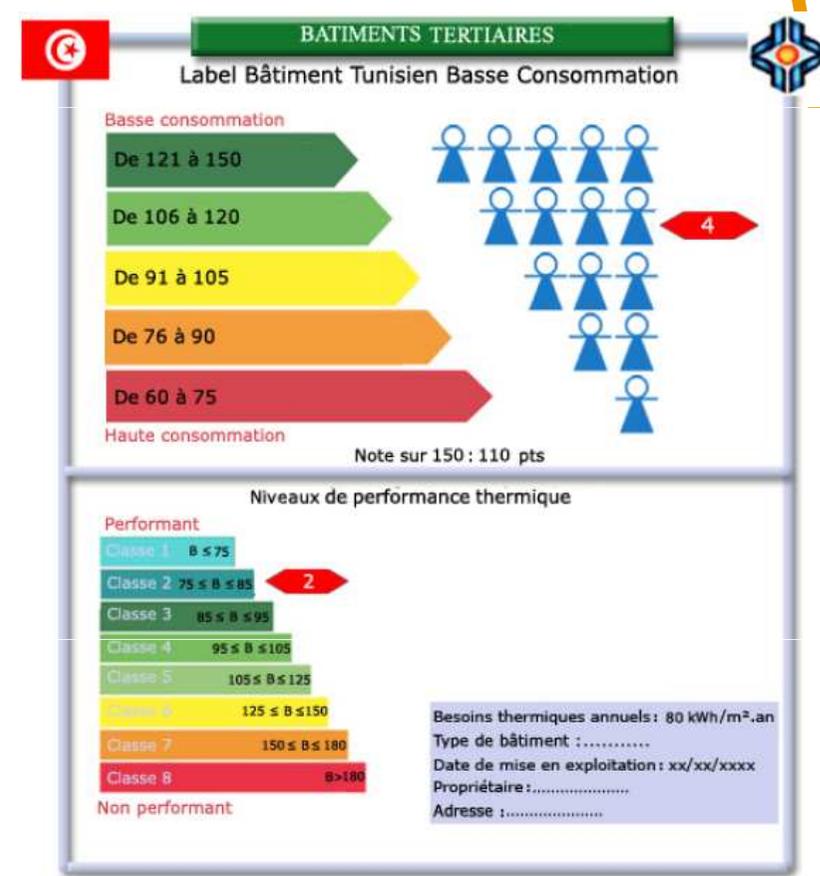
Label BTuBC

Résidentiel



minimum requis: 50 points

Tertiaire



minimum requis: 60 points

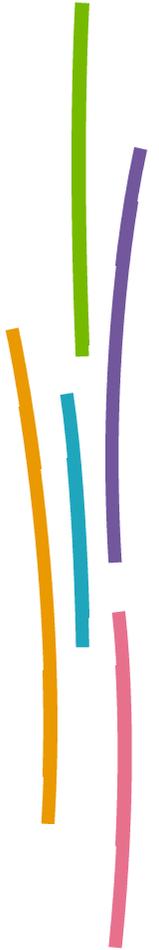
Contexte

🌐 Critères sur l'enveloppe et notation retenus

	INDICATEURS	CRITÈRE(S)	TYPE BATIMENT	COMMENTAIRES
ENVELOPPE	Besoins spécifiques en chauffage et refroidissement	KWh/m2/an	Hôtel	Privé : 44 (classe 3 = 0 points, classe 1 = 44 pts)
		KWh/m2/an	Bureau	Privé : 44 (classe 3 = 0 points, classe 1 = 44 pts) Public : 44 (classe 5 = 0 points, classe 1 = 44 pts)
		KWh/m2/an	Santé	Privé : 44 (classe 3 = 0 points, classe 1 = 44 pts) Public : 44 (classe 5 = 0 points, classe 1 = 44 pts)
		KWh/m2/an	Résidentiel	Privé : 36 (classe 3 = 0 points, classe 1 = 36 pts) Public : 36 (classe 5 = 0 points, classe 1 = 36 pts)
	Architecture bioclimatique et aménagements intérieurs	Solaire passif	Hôtel	6 pts : analyse quantitative
		Solaire passif & zoning	Bureau	6 pts : analyse quantitative
		Solaire passif & zoning	Santé	6 pts : analyse quantitative
		Solaire passif	Résidentiel	4 pts : analyse quantitative
	Intégration et usage des matériaux locaux	Usage matériaux Locaux et énergie grise	Hôtel	5 (de 0 à 5pts selon les performances des matériaux qui seront dressés dans une liste) (la liste serait composée de : béton, brique, pierre, plâtre, parpaing)
		Usage matériaux Locaux et énergie grise	Bureau	5 (de 0 à 5pts selon les performances des matériaux qui seront dressés dans une liste) (la liste serait composée de : béton, brique, pierre, plâtre, parpaing)
		Usage matériaux Locaux et énergie grise	Santé	5 (de 0 à 5pts selon les performances des matériaux qui seront dressés dans une liste) (la liste serait composée de : béton, brique, pierre, plâtre, parpaing)
		Usage matériaux Locaux et énergie grise	Résidentiel	5 (de 0 à 5pts selon les performances des matériaux qui seront dressés dans une liste) (la liste serait composée de : béton, brique, pierre, plâtre, parpaing)
	Accompagnement par un auditeur	Audit préalable sur plan	Hôtel	5 pts de Bonus
			Bureau	5 pts de Bonus
			Santé	5 pts de Bonus
			Résidentiel	5 pts de Bonus

SOMMAIRE

- 1 Phénomènes physiques mis en jeu
- 2 Les isolants thermiques
- 3 Type d'isolation
- 4 Principe constructif Tunisien



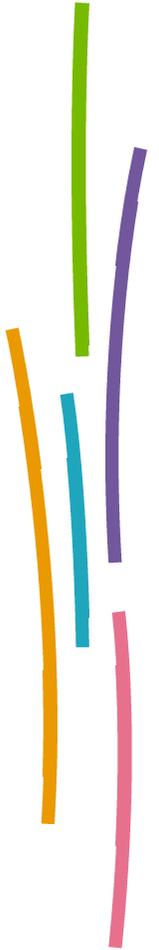
SOMMAIRE

1 Phénomènes physiques mis en jeu

2 Les isolants thermiques

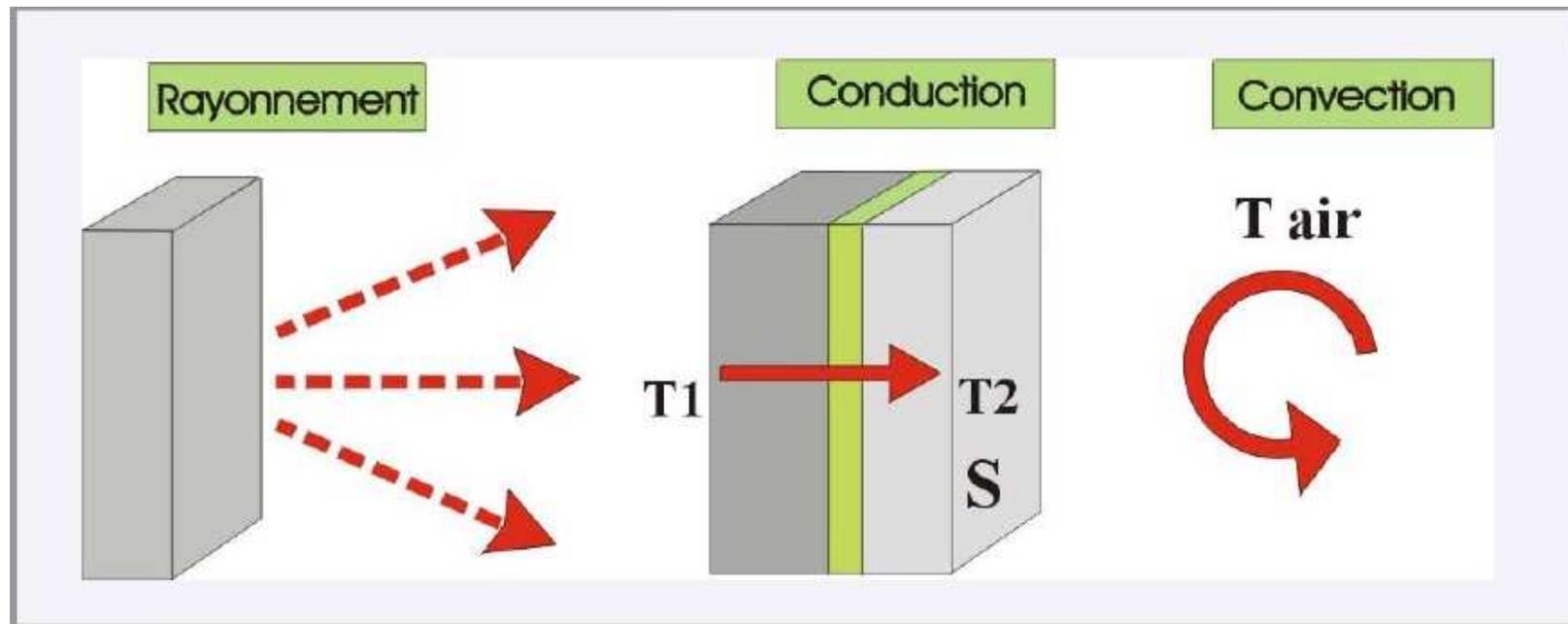
3 Type d'isolation

4 Principe constructif Tunisien



1. Phénomènes physiques mis en jeu

- 🌐 Echange entre le bâtiment son environnement



1. Phénomènes physiques mis en jeu

🌐 Résistance thermique des matériaux

- Évaluée en considérant la conductivité thermique λ et l'épaisseur e du matériau.

Matériaux	λ en W/(m.K)
Brique terre cuite	1.15
Béton	1.75
Laine de verre	0.036

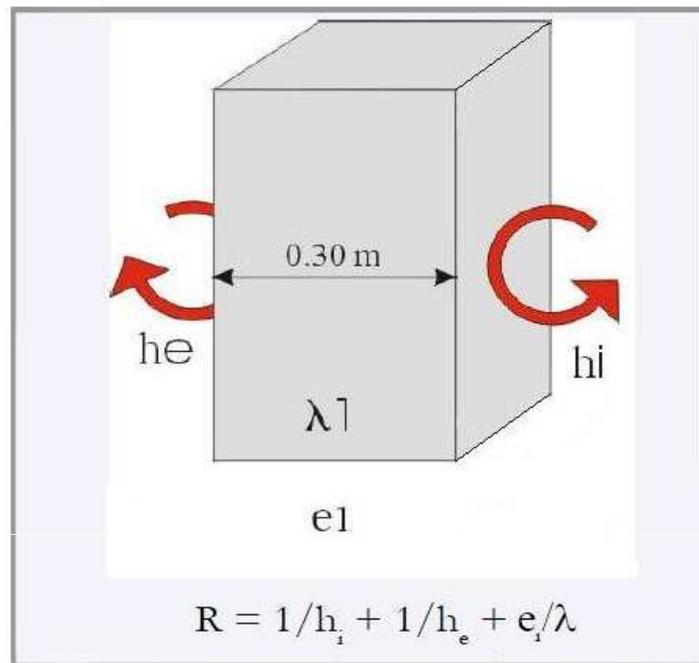
$$\blacktriangleright R = e / \lambda$$

$$30\text{cm béton} \rightarrow R = 0.26\text{m}^2.\text{K/W}$$

1. Phénomènes physiques mis en jeu

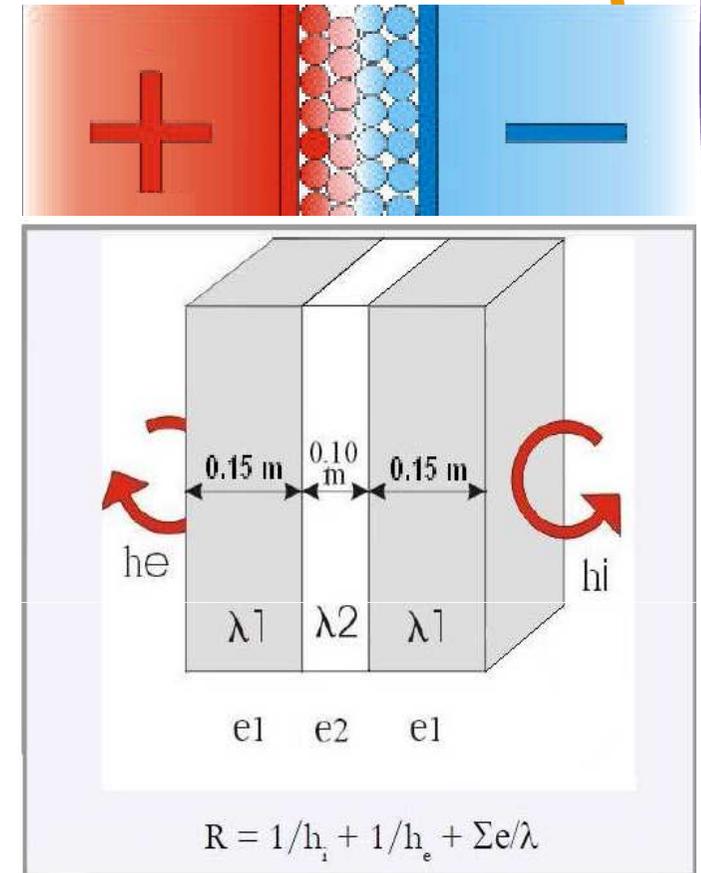
🌐 Résistance thermique du matériaux (suite)

- Les résistances thermiques s'additionnent



$$R_1 = 0,04 + 0,13 + 0,26$$
$$R_1 = 0,43 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

7 fois plus
résistant

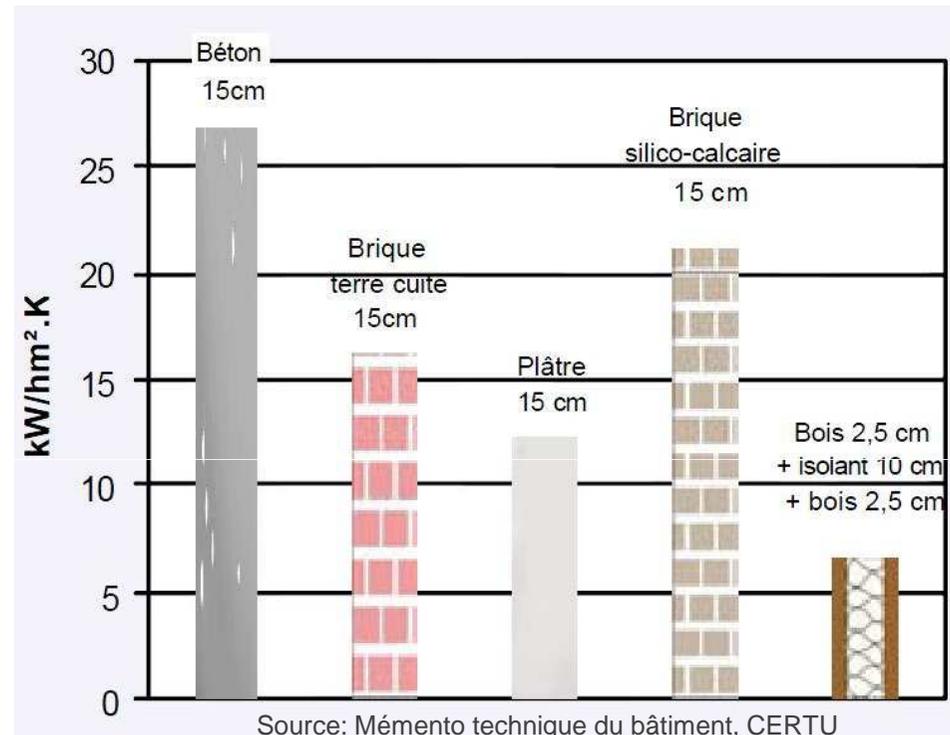


$$R_2 = R_1 + 2,78$$
$$R_2 = 3,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

1. Phénomènes physiques mis en jeu

🌐 L'inertie thermique

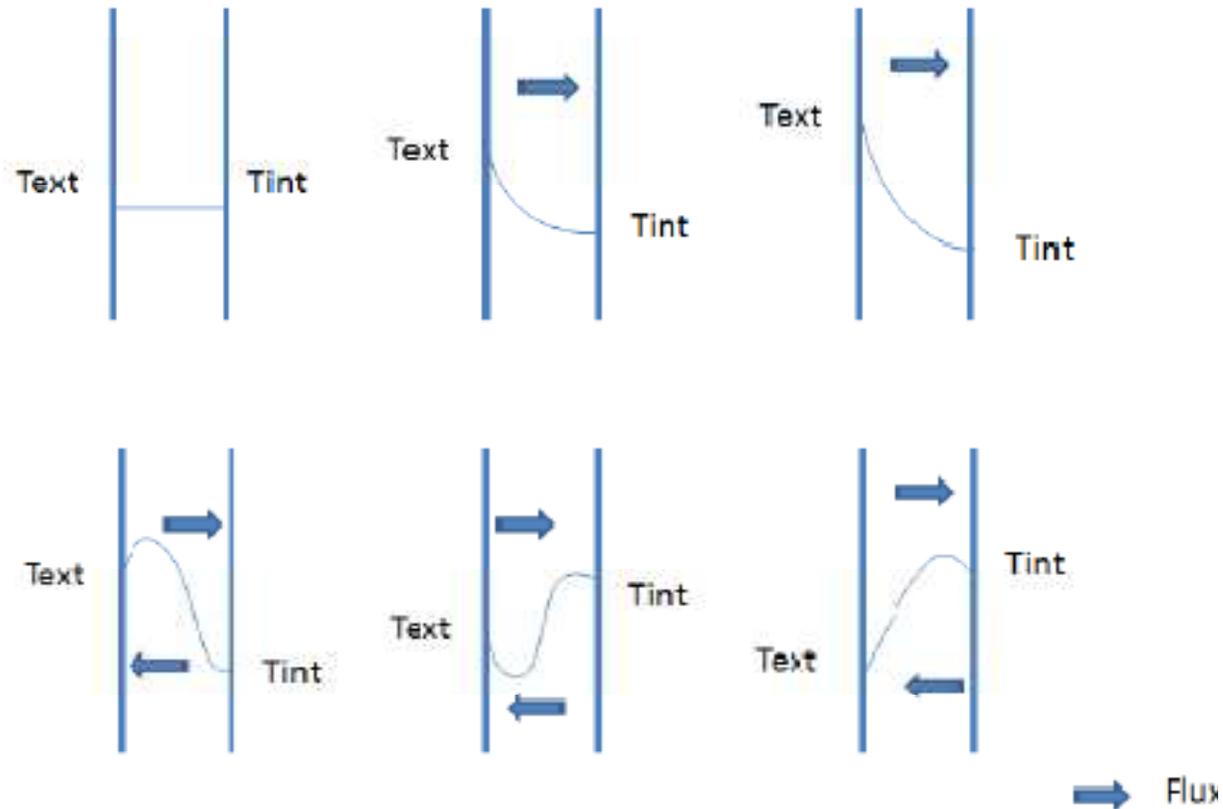
Définition: capacité du matériau à stocker de l'énergie
Plus l'inertie élevée plus le matériau « restitue » la fraîcheur



1. Phénomènes physiques mis en jeu

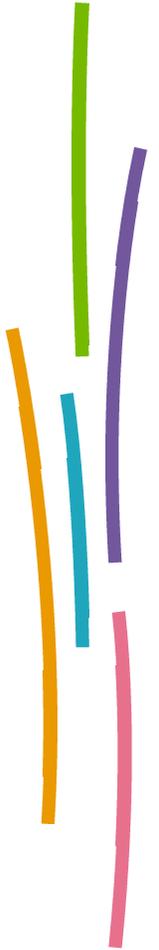
🌐 L'inertie thermique

- Evolution des échanges thermiques sur une journée d'été



SOMMAIRE

- 1 Phénomènes physiques mis en jeu
- 2 Les isolants thermiques**
- 3 Type d'isolation
- 4 Principe constructif Tunisien



2. Les isolants thermiques

Tour d'horizon

	Densité kg/ m ³	Conductivité thermique W/m.K	Ressource renouvelable/ Recyclable	Energie grise kWH/m ³
Isolants synthétiques				
Polystyrène	20 à 30	0.028 (extrudé) 0.035 (expansé)	Non / Non	450 (expansé) 850 (extrudé)
Polyuréthane	20 à 40	0.025	Non / Non	1000 à 1200
Polyesters	25	0.035	Non / Non	600
Isolants minéraux				
Laine de verre	25	0.036	Non / difficile	150 à 250
Laine de roche	40	0.040	Non / difficile	150 à 250
Perlite	90	0.045 à 0.050	Non / Non	230
Vermiculite	75 à 130	0.06 à 0.08		
Argile expansée	Variable	0.103 à 1.108	Non / Possible	300
Verre cellulaire	110 à 130	0,035 à 0,048	Non / Possible	1600
Isolants végétaux				
Chanvre	Vrac : 110 Laine : 25 à 35	0.048 0.039	Oui / Oui	5 à 10
Laine de coton	20 à 30	0.04	Oui / Oui	5 à 20
Laine de cellulose	70 à 100	0.040	Oui / Oui	5 à 10
Laine de bois	160 à 270	0,038 à 0,060	Oui / Oui	12,5
Liège expansé	80 à 120	0.032 à 0.045	Oui / Oui	80 à 90
Lin	25 à 35	0.037	Oui / Oui	5 à 20
Laine de coco	20	0,43 à 0,047	Oui / Oui	/
Isolants d'origine animale				
Laine de mouton	10 à 30	0.035 à 0.045	Oui / Oui	50 à 80
Plume de canard	variable	0.033	Oui / Oui	50 à 80

2. Les isolants thermiques

🌐 Isolants d'origine minérale

- Laine de verre (fabriquée à partir de sable)
- Laine de roche (fabriquée à partir de roche volcanique, de basalte)



2. Les isolants thermiques

- 🌐 Isolants de synthèse : Mousses alvéolaires
 - Le polyuréthane (PUR)
 - Le polystyrène extrudé (XPS)
 - Le polystyrène expansé (PSE)



2. Les isolants thermiques

🌍 Isolants d'origine végétale

- La ouate de cellulose



- Le chanvre



2. Les isolants thermiques

🌍 Isolants d'origine végétale

○ Le coton



○ Laine de bois



JUMELAGE Eco - Construction

2. Les isolants thermiques

🌍 Isolants d'origine animale

- Laine de mouton

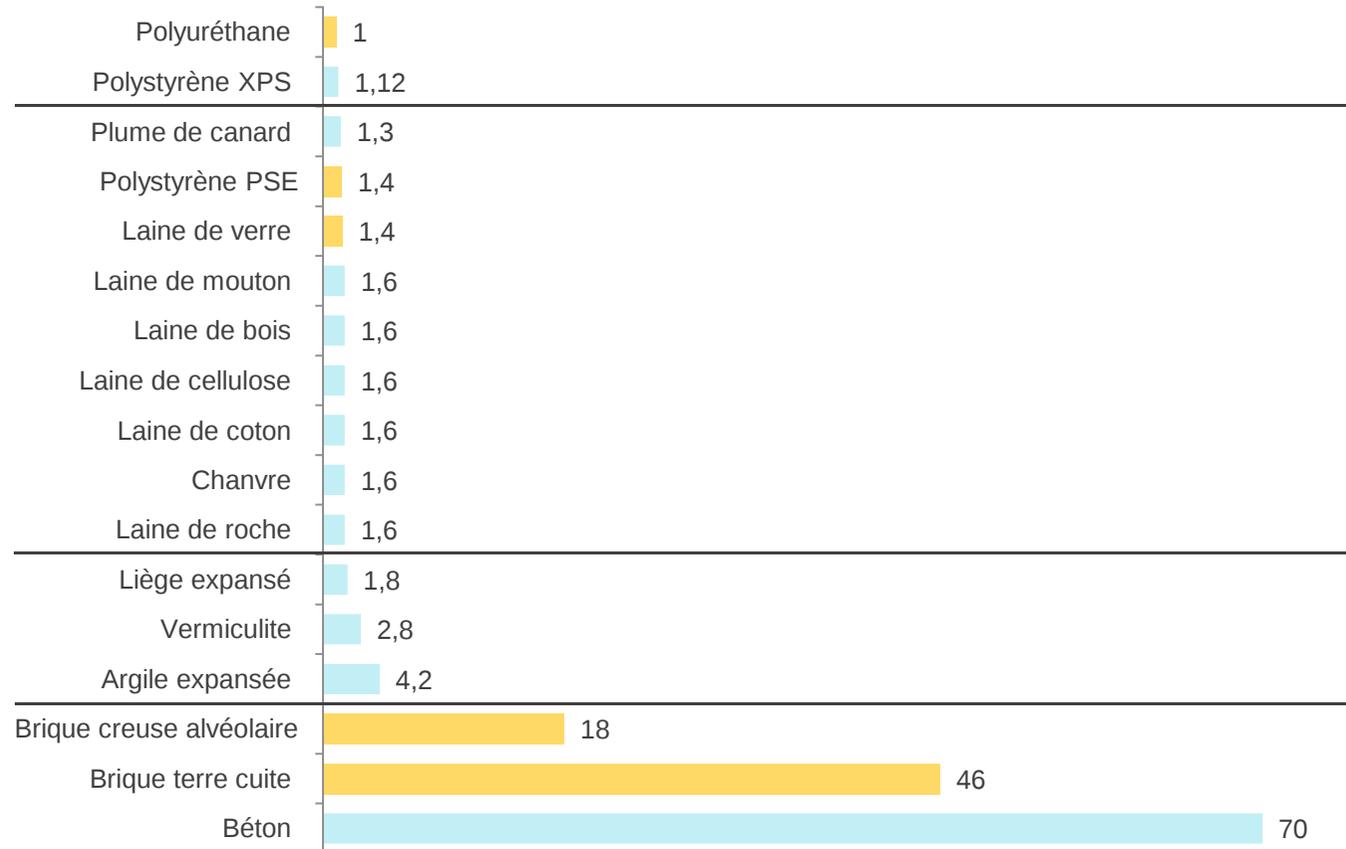


- Plume de canard



2. Les isolants thermiques

🌍 Épaisseur en cm à résistance équivalente



2. Les isolants thermiques

- 🌐 Certification ACERMI (Association pour la certification des matériaux isolants)
 - Une démarche volontaire des industriels
 - Des informations fiables pour comparer et choisir les isolants

Performances annoncées = Performances confirmées



ASSOCIATION POUR LA CERTIFICATION DES MATERIAUX ISOLANTS
ASSOCIATION DECLARÉE (LOI DU 1ER JUILLET 1901) ORGANISME CERTIFICATEUR DECLARE (LOI 94-442 DU 3 JUIN 1994)
CSTB - LNE

CARACTERISTIQUES CERTIFIEES
Certified properties
CERTIFICAT ACERMI
N° 13/007/816
Licence n° 13/007/816



CONDUCTIVITE THERMIQUE CERTIFIEE (Laine de bois) : **0,120 W/(m.K)**
(Laine de roche) : **0,037 W/(m.K)**

Certified thermal conductivity

	Résistance thermique – Thermal resistance										
Epaisseur (mm)	50	75	100	115	125	135	150	-	-	-	-
R (m ² .K/W)	0,85	1,55	2,20	2,60	2,90	3,15	3,55	-	-	-	-

REACTION AU FEU :
Reaction to fire

- Classe A2-s1, d0

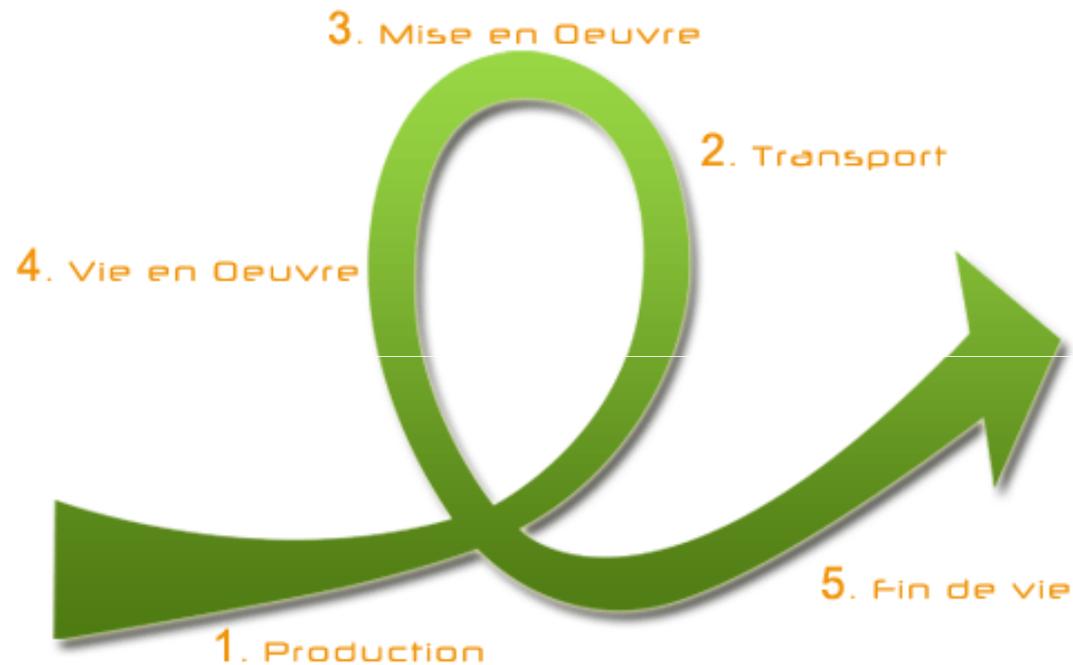
JUMELAGE Eco - Construction

2 . Les isolants thermiques

🌍 Impact environnemental:

Les FDES (Fiches de Déclarations Environnementales et Sanitaires)

- Une démarche volontaire des industriels
- Bilan environnemental établi par une **analyse du cycle de vie**.



JUMELAGE Eco - Construction

2 . Les isolants thermiques

- Exemple FDES Laine de verre (UF 5x1x0,1):

2 Données d'Inventaire et autres données selon NF P 01-010 § 5 et commentaires relatifs aux effets environnementaux et sanitaires du produit selon NF P 01-010 § 4.7.2

Les données d'inventaire		* Voir le « Guide de lecture » note 1							Evitement dû à l'isolant *	
Flux	Unités	Production	Transport	Mise en œuvre	Vie en œuvre	Fin de vie	Total cycle de vie		Total cycle de vie	
							Par annuité	Pour toute la DVT	Par annuité	Pour toute la DVT
Consommation de ressources naturelles énergétiques										
Bois	kg	0.0102		0	0		0.0102	0.511	0.00707	0.354
Charbon	kg	0.00889		0	0		0.00900	0.450	-0.590	-29.5
Lignite	kg	0.000190		0	0		0.000190	0.00948	-0.00570	-0.285
Gaz naturel	kg	0.0117	4.82 E-05	0	0		0.0117	0.586	-2.08	-104
Pétrole	kg	0.00363	0.000701	0	0	2.79 E-05	0.00436	0.218	-0.0840	-4.20
Uranium (U)	kg	1.75 E-06	4.36 E-09	0	0		1.75 E-06	8.76 E-05	-0.000370	-0.0185
Indicateurs énergétiques										
Energie Primaire Totale	MJ	1.87	0.0364	0	0		1.91	95.3	-318	-15 901
Energie Renouvelable	MJ	0.122		0	0		0.123	6.14	-11.7	-586
Energie Non Renouvelable	MJ	1.75	0.0361	0	0		1.78	89.2	-306	-15 315
Energie procédé	MJ	1.69	0.0365	0	0		1.73	86.4	-318	-15 905
Energie matière	MJ	0.180	0	0	0	0	0.180	8.99	0.0733	3.67
Electricité	kWh	0.108	0.000645	0	0		0.109	5.43	0.109	5.43

JUMELAGE Eco - Construction

2 . Les isolants thermiques : Impact environnemental

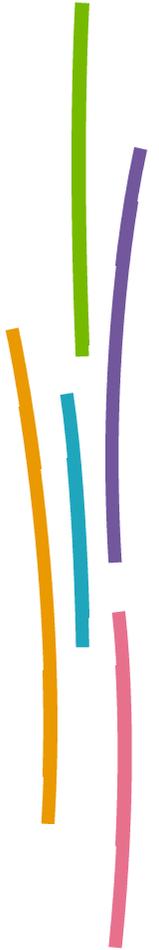
- 🌍 Label bâtiment biosourcé
 - Besoin de reconnaissance pour le développement de matériaux écologiques.
 - Label garantit l'utilisation de matériaux biosourcés: **origine animale ou végétale**
- 🌍 Trois niveaux du label bâtiment Bio-sourcé
 - Fonction du taux d'incorporation de matière biosourcée **en kg/m² de plancher**



Type d'usage	Taux d'incorporation en kg/m ² de surface de plancher		
	1 ^{er} niveau	2 ^e niveau	3 ^e niveau
Maison individuelle	42	63	84
Collectifs, tertiaires, etc.	18	24	36

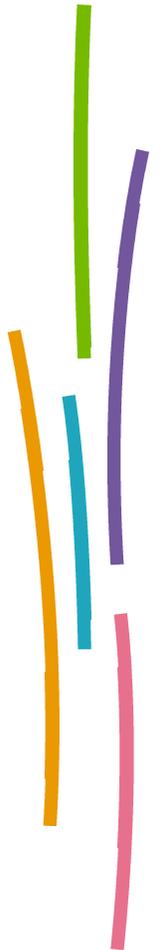
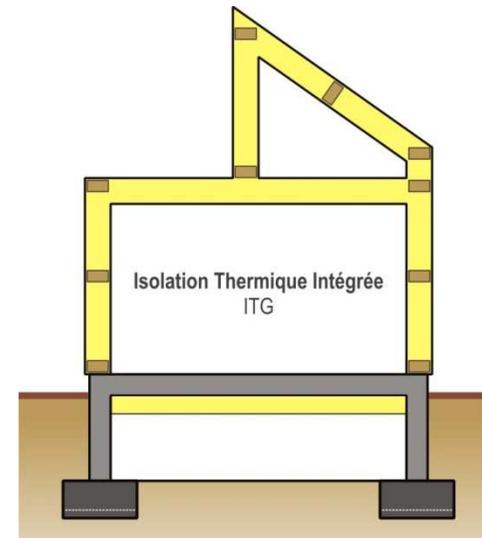
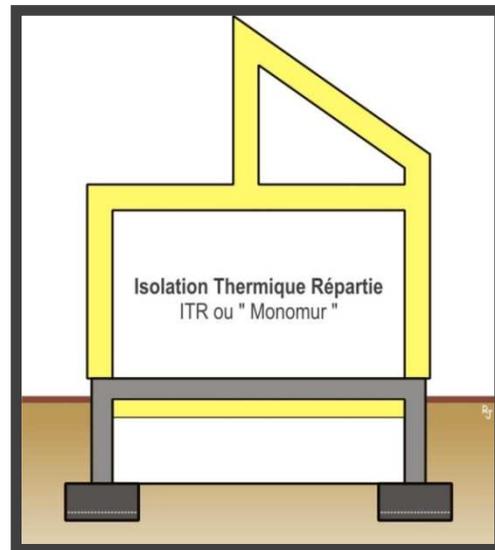
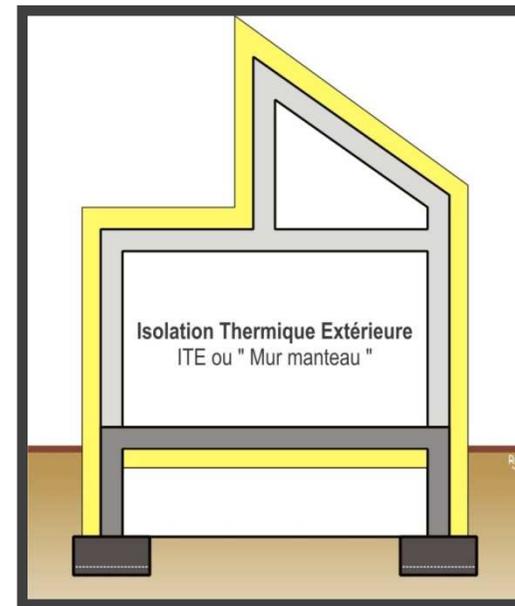
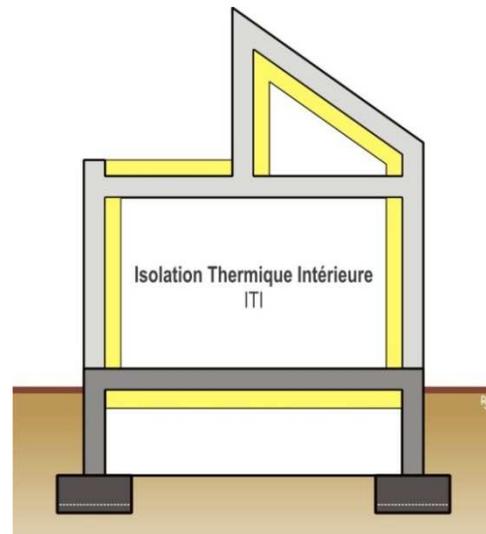
SOMMAIRE

- 1 Phénomènes physiques mis en jeu
- 2 Les isolants thermiques
- 3 Type d'isolation**
- 4 Principe constructif Tunisien



3. Type d'isolation

🌍 4 grands types:



3. Type d'isolation

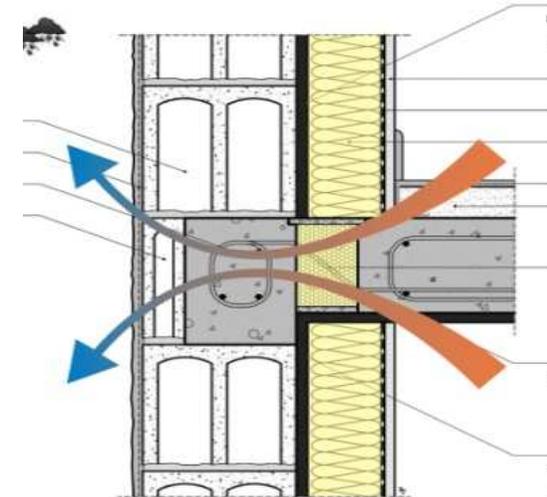
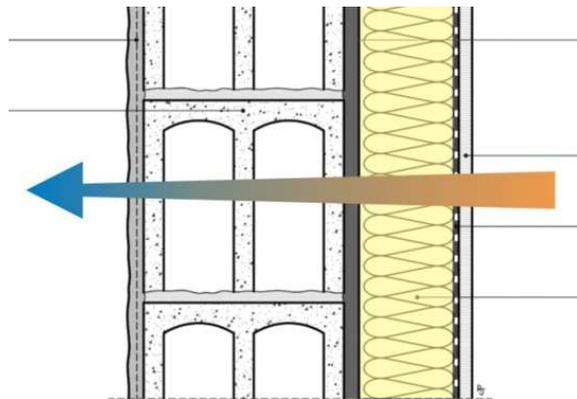
🌐 Isolation Intérieure

Avantages

- Facilité de mise en œuvre
- Meilleurs délais de réponse des systèmes de chauffage/rafraîchissement
- Ne modifie pas l'aspect des façades en rénovation

Inconvénients

- Pont thermique difficile à traiter
- Inertie thermique faible
- Surface habitable diminuée



JUMELAGE Eco - Construction

3. Type d'isolation

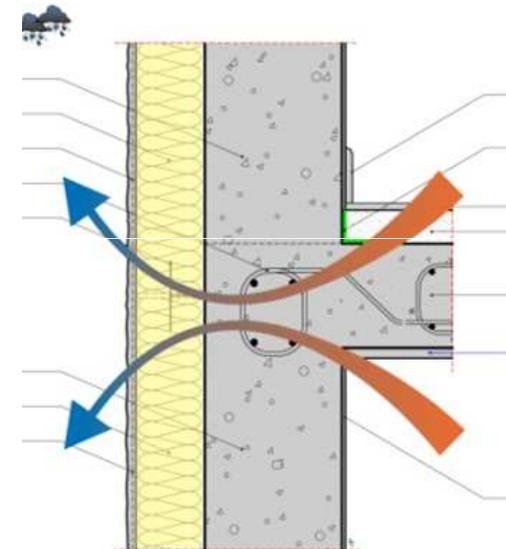
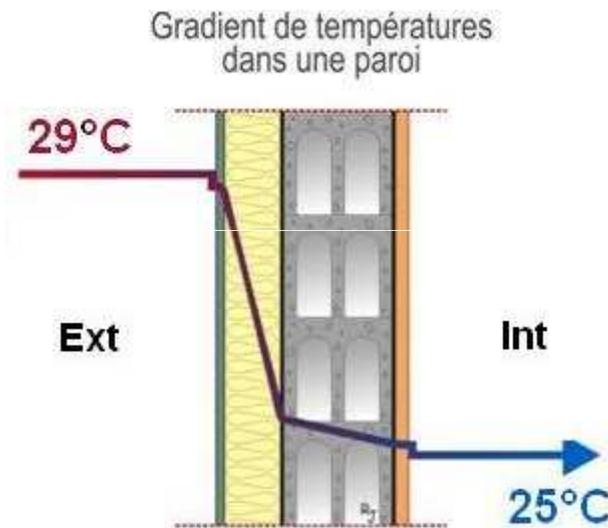
🌐 Isolation Extérieure

Avantages

- Inertie importante et gradient thermique dans l'isolant
- Pas de pont thermique
- Aspect pratique en rénovation
- Espace intérieur conservé

Inconvénients

- Pose des menuiseries spécifique

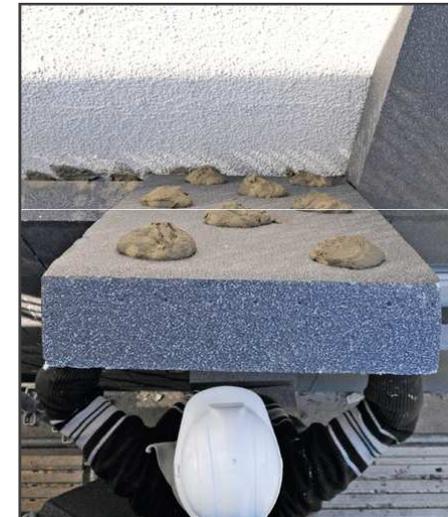


3. Type d'isolation

🌍 Isolation Extérieure (photos)



PSE calée



PSE graphité colée



Traitement des menuiseries

JUMELAGE Eco - Construction

3. Type d'isolation

Isolation thermique répartie

Le mur permet de combiner les fonctions de structure et d'isolation

Avantages

- Bonne inertie thermique
- Pas de pont thermique

Inconvénients

- Importance de la mise en oeuvre
- Inertie thermique faible
- Surface habitable diminuée



JUMELAGE Eco - Construction

3. Type d'isolation

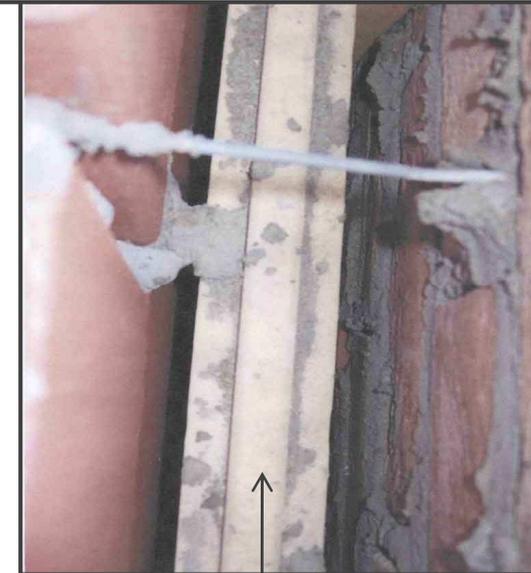
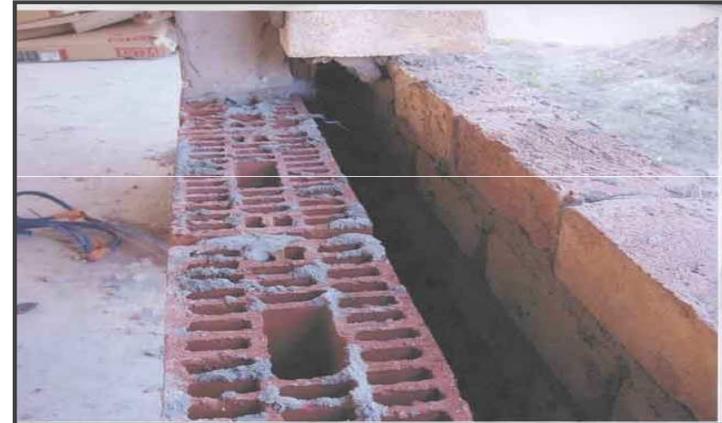
🌐 Isolation thermique répartie: ⚠️ Vigilance lors de la mise en œuvre



JUMELAGE Eco - Construction

3. Type d'isolation

🌍 Optimisation thermique



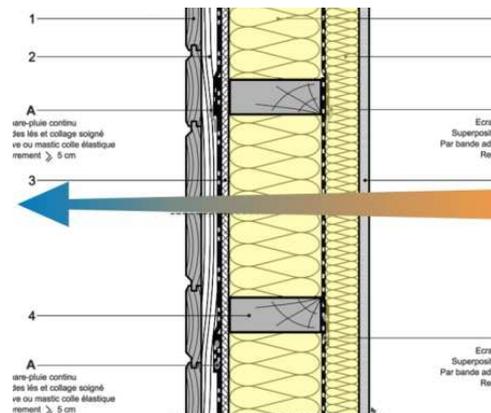
XPS

JUMELAGE Eco - Construction

3. Type d'isolation

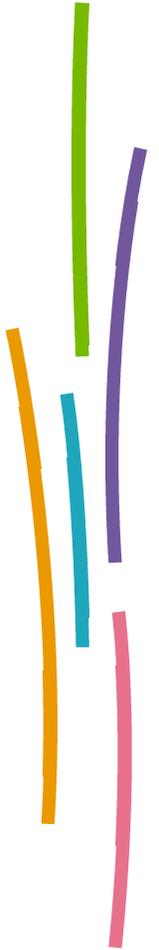
🌍 Isolation thermique intégrée

- L'isolation est positionnée entre les éléments de structure des murs à ossature



SOMMAIRE

- 1 Phénomènes physiques mis en jeu
- 2 Les isolants thermiques
- 3 Type d'isolation
- 4 Principe constructif Tunisien**



4. Principe constructif Tunisien

- 🌐 Double paroi ventilé: type isolation répartie
- 🌐 Structure: Poteau poutre remplissage brique terre cuite



Collectif, centre ville Tunis

JUMELAGE Eco - Construction

4. Principe constructif Tunisien

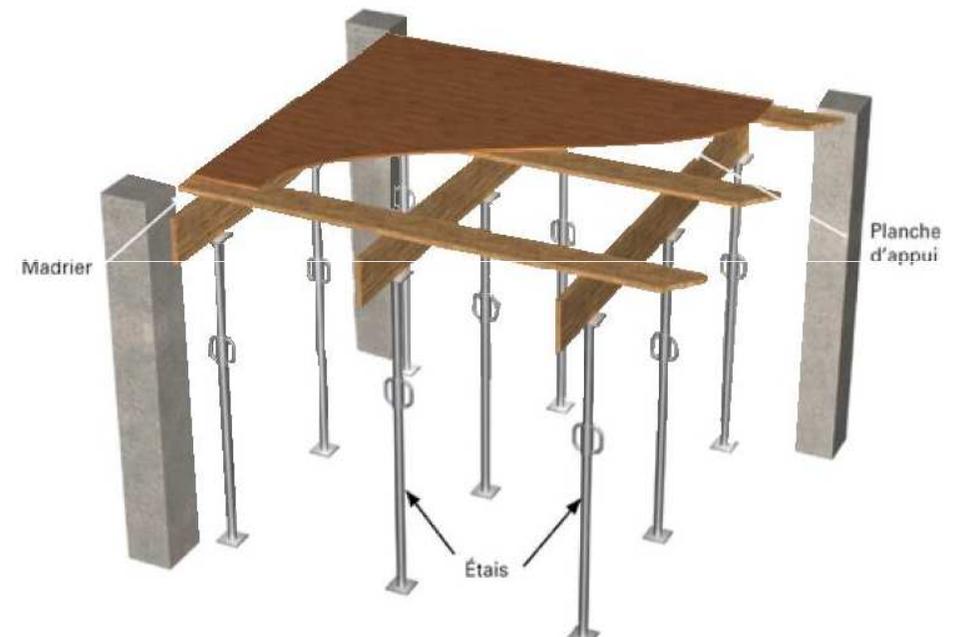
🌐 Maison Individuelle à Carthage



JUMELAGE Eco - Construction

4. Principe constructif Tunisien

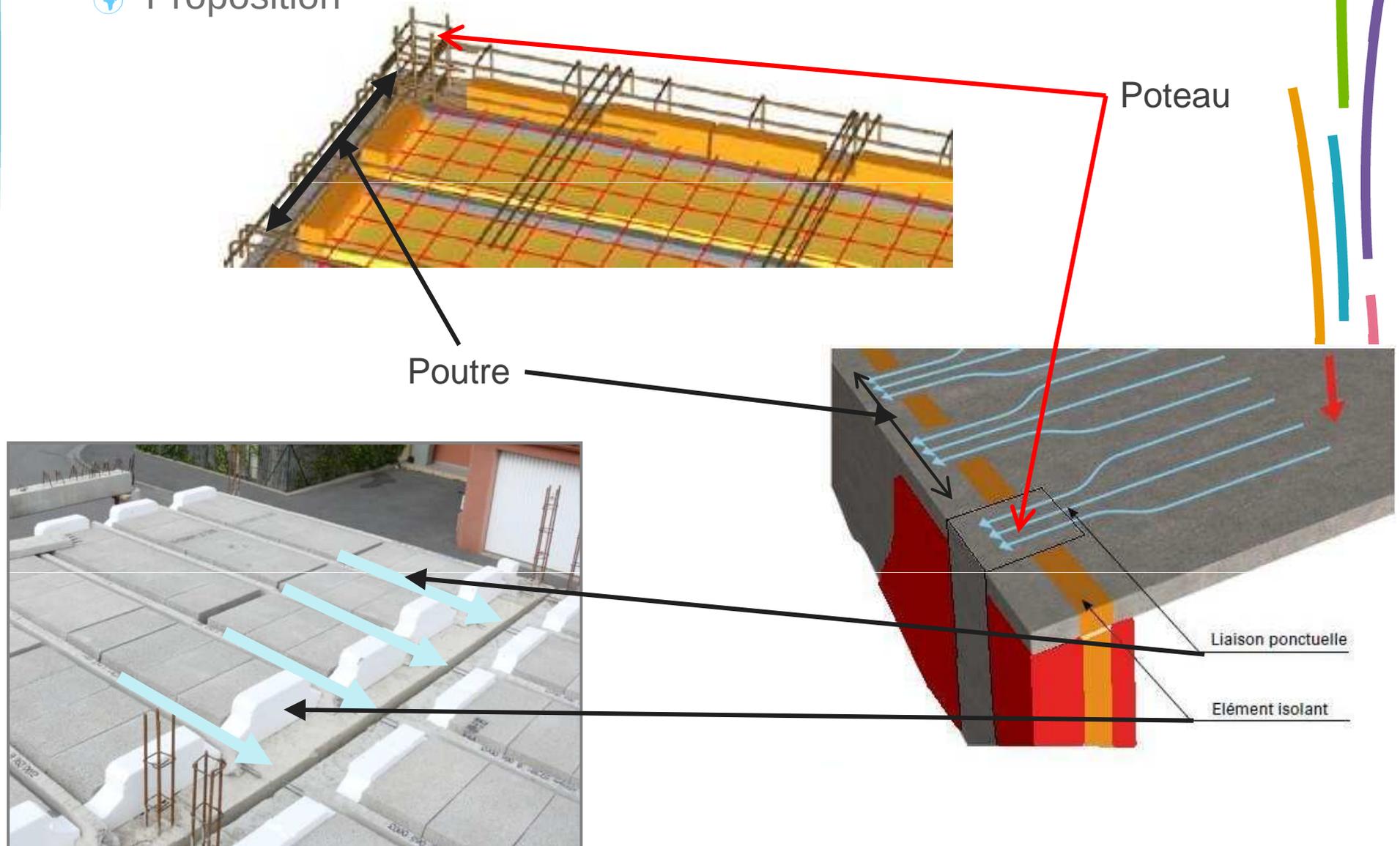
🌐 Point clé: la mise en œuvre des dalles et poutres



JUMELAGE Eco - Construction

4. Principe constructif Tunisien

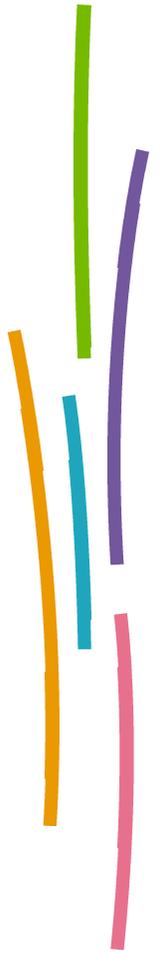
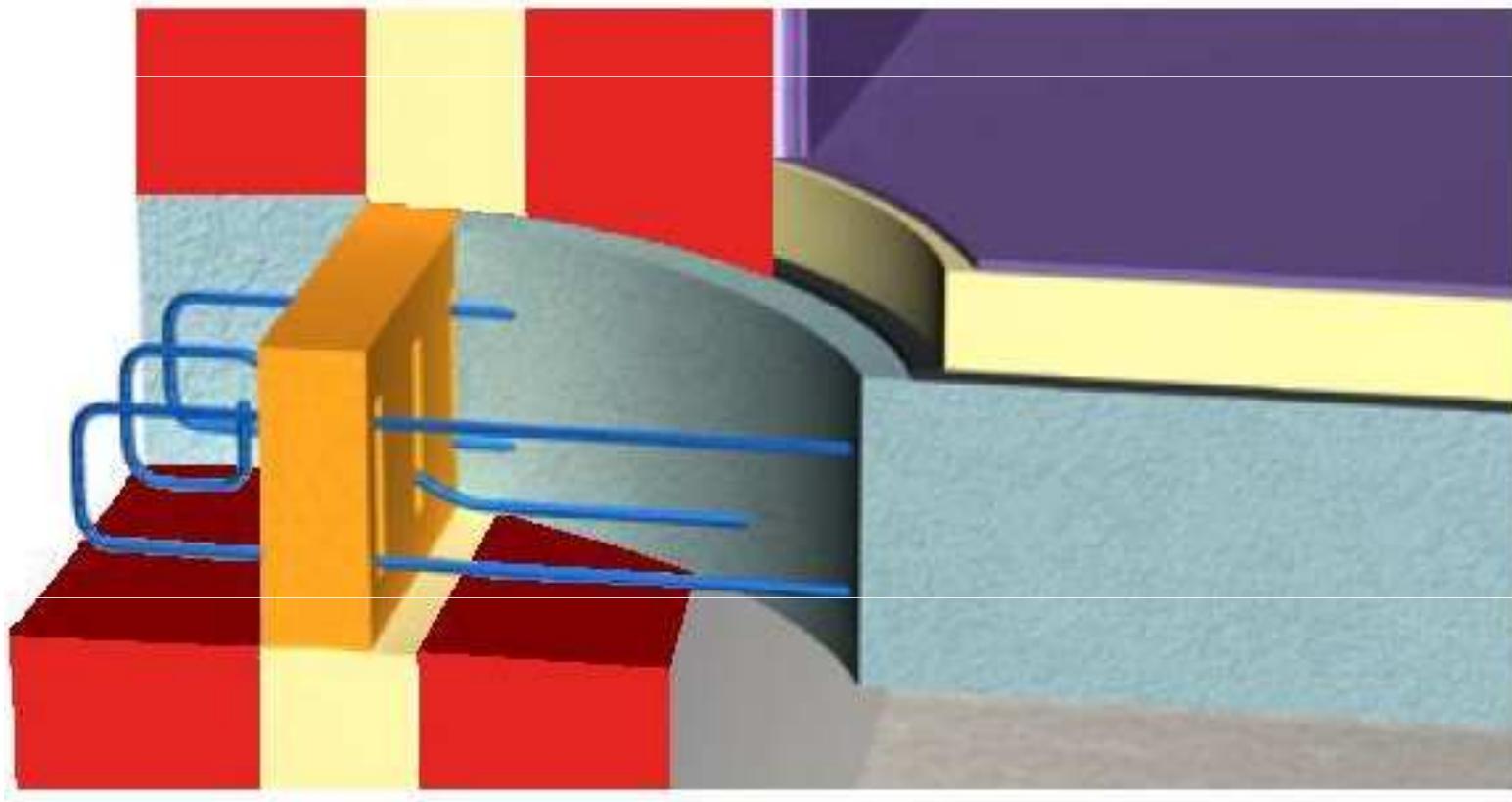
🌐 Proposition



JUMELAGE Eco - Construction

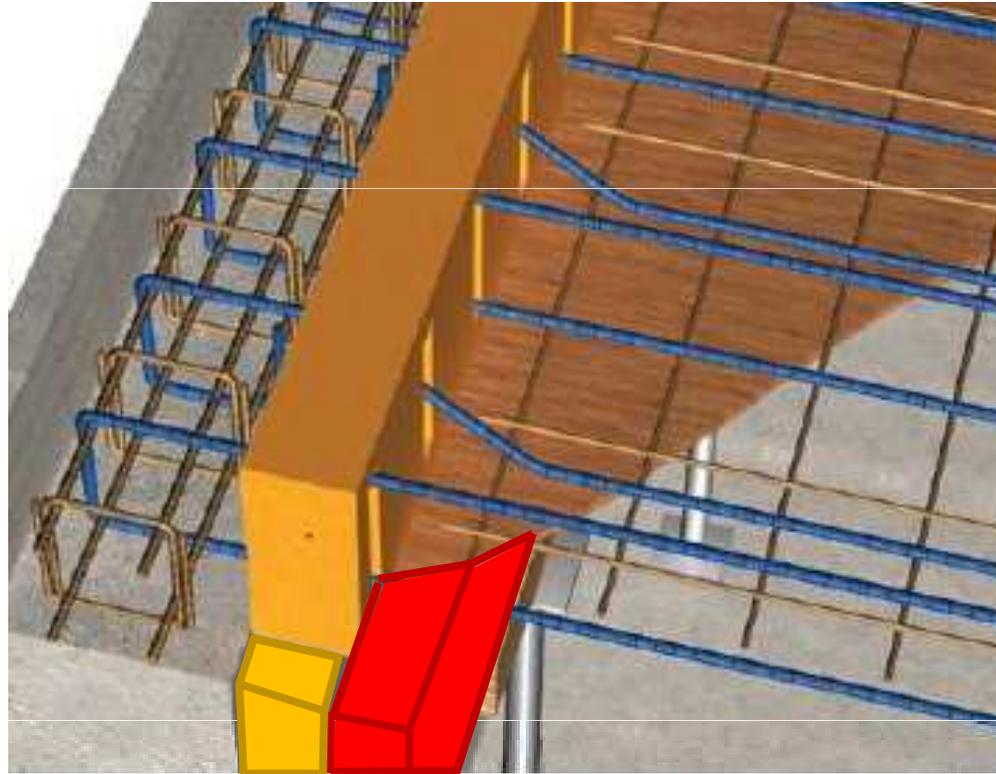
4. Principe constructif Tunisien

🌐 Détail du rupteur thermique



4. Principe constructif Tunisien

🌐 Détail du rupteur thermique avec ferrailage



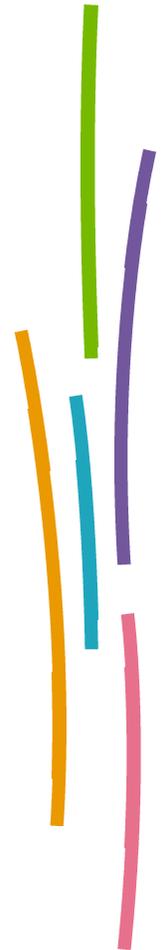
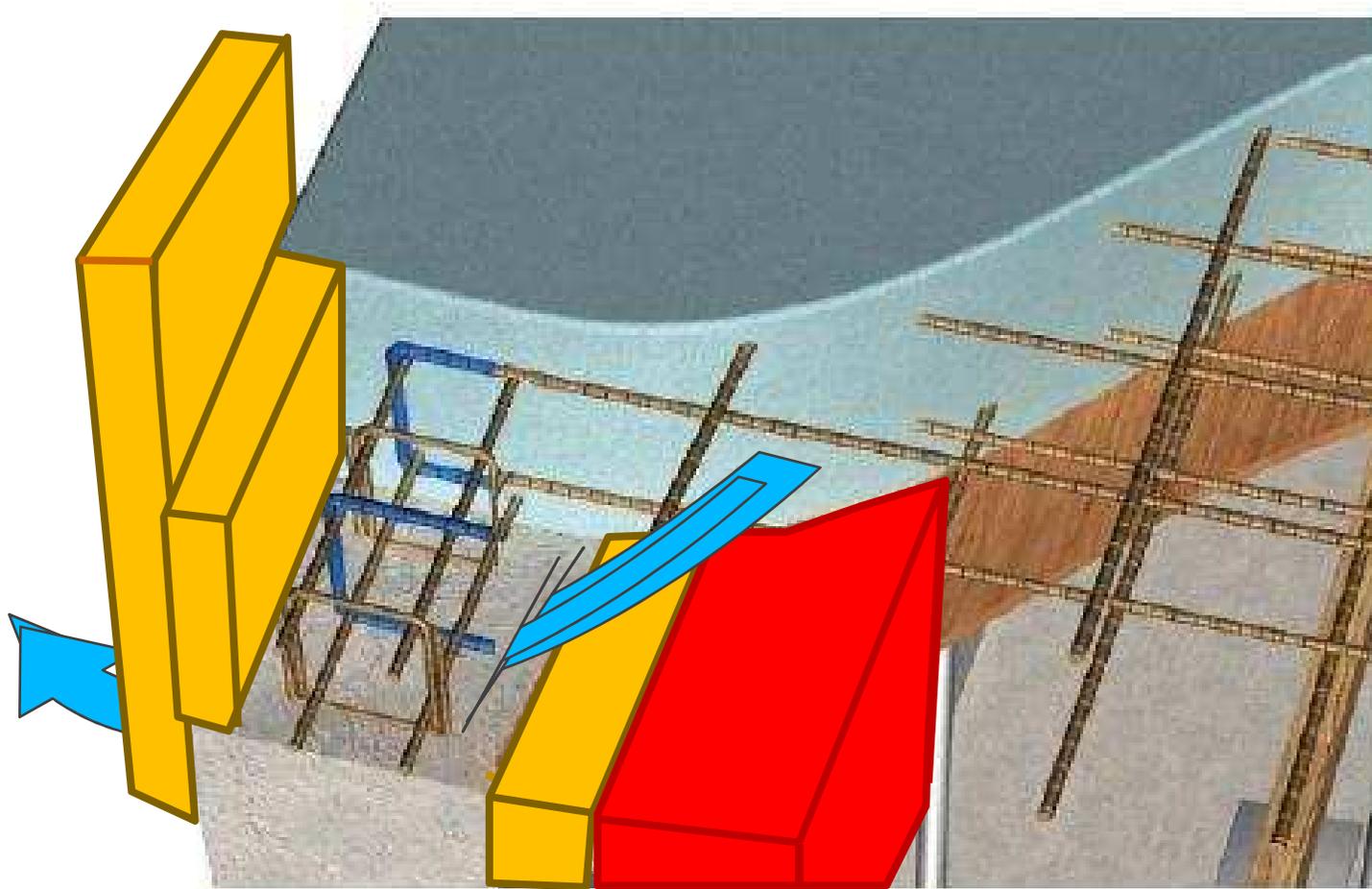
→ Problématique:

- Disponibilité sur le marché Tunisien
- Coût
- Risque sismique

JUMELAGE Eco - Construction

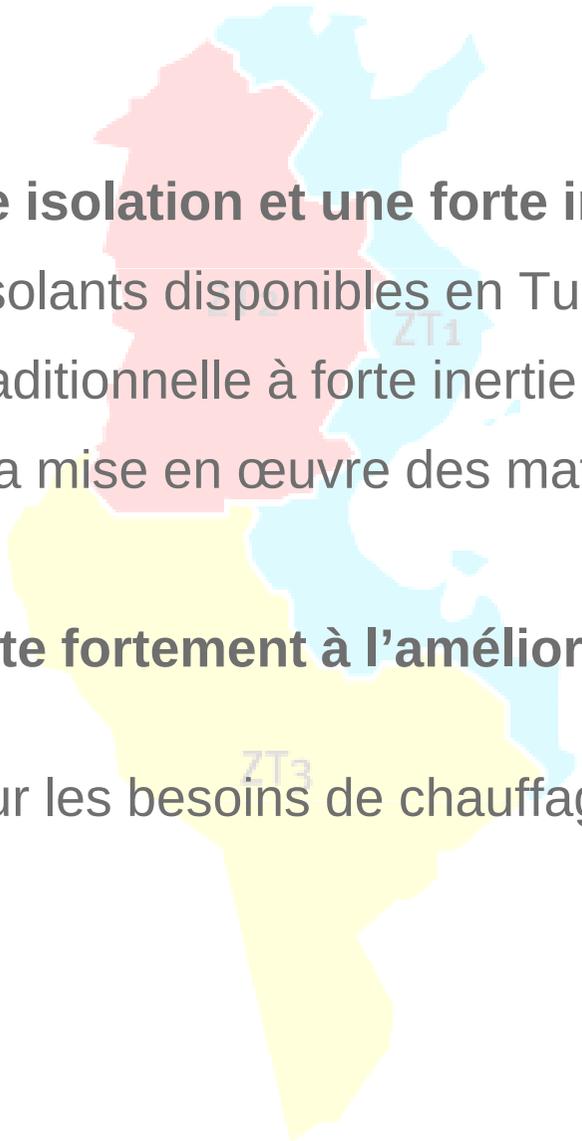
4. Principe constructif Tunisien

🌐 Alternative



JUMELAGE Eco - Construction

Conclusion

- 
- 🌐 **Outil d'une bonne isolation et une forte inertie:**
 - Large choix d'isolants disponibles en Tunisie
 - Construction traditionnelle à forte inertie
 - Précaution de la mise en œuvre des matériaux et des isolants
 - 🌐 **Label BTuBC incite fortement à l'amélioration des performances de l'enveloppe:**
 - Impact direct sur les besoins de chauffage et de rafraîchissement

Enveloppe du bâtiment

Merci de votre attention

bruno.cornen@developpement-durable.gouv.fr

Nicolas.cabassud@developpement-durable.gouv.fr