



Projet aPROpaille

Vers une reconnaissance de l'usage
de la paille comme matériau isolant
dans la construction

Réunion du 18 avril 2013



- Objectif de la recherche:

« Améliorer la connaissance sur le comportement et les performances de parois dont la performance thermique est essentiellement obtenue par usage de la paille. »



Tâche 2 et tâche 3: Sélection et détermination des propriétés hygrothermiques des matières premières



Tâche 2 et tâche 3: Sélection et détermination des propriétés hygrothermiques des matières premières



Tâche 3.4 : Modélisation numérique du comportement hygrothermique de parois et bâtiments



Tâche 2 et tâche 3: Sélection et détermination des propriétés hygrothermiques des matières premières



Tâche 3.4 : Modélisation numérique du comportement hygrothermique de parois et bâtiments



Tâche 5: Monitoring de trois bâtiments

Tâche 2 et tâche 3: Sélection et détermination des propriétés hygrothermiques des matières premières



Tâche 3.4 : Modélisation numérique du comportement hygrothermique de parois et bâtiments



Tâche 5: Monitoring de trois bâtiments



Tâche 6 : Elaboration de vade-mecum pour les acteurs de la construction (+site internet)

Tâche 1: Inventaire des connaissances et état de l'art

Tâche 2 et tâche 3: Sélection et détermination des propriétés hygrothermiques des matières premières

Tâche 3.4 : Modélisation numérique du comportement hygrothermique de parois et bâtiments

Tâche 5: Monitoring de trois bâtiments

Tâche 6 : Elaboration de vade-mecum pour les acteurs de la construction (+site internet)

Tâche 1: Inventaire des connaissances et état de l'art

Tâche 2 et tâche 3: Sélection et détermination des propriétés hygrothermiques des matières premières

Tâche 3.4 : Modélisation numérique du comportement hygrothermique de parois et bâtiments

Tâche 5: Monitoring de trois bâtiments

Tâche 6 : Elaboration de vade-mecum pour les acteurs de la construction (+site internet)

Tâche 4: Analyse comparative de durabilité des matériaux et des modules constructifs

Tâche 1: Inventaire des connaissances et état de l'art

Tâche 2 et tâche 3: Sélection et détermination des propriétés hygrothermiques des matières premières

Tâche 3.4 : Modélisation numérique du comportement hygrothermique de parois et bâtiments

Tâche 5: Monitoring de trois bâtiments

Tâche 6 : Elaboration de vade-mecum pour les acteurs de la construction (+site internet)

Tâche 4: Analyse comparative de durabilité des matériaux et des modules constructifs

Tâche 1: Inventaire des connaissances et état de l'art

Tâche 2 et tâche 3: Sélection et détermination des propriétés hygrothermiques des matières premières

Tâche 3.4 : Modélisation numérique du comportement hygrothermique de parois et bâtiments

Tâche 5: Monitoring de trois bâtiments

Tâche 6 : Elaboration de vade-mecum pour les acteurs de la construction (+site internet)

Tâche 4: Analyse comparative de durabilité des matériaux et des modules constructifs

Caractérisation hygrothermique des enduits

- 2 types d'enduits différents testés:

Caractérisation hygrothermique des enduits

- 2 types d'enduits différents testés:
 - Enduit composé de sable, de paille et d'argile provenant d'une argillère wallonne

Car
enc

- 2



Caractérisation hygrothermique des enduits

- 2 types d'enduits différents testés:
 - Enduit composé de sable, de paille et d'argile provenant d'une argilière wallonne

Caractérisation hygrothermique des enduits

- 2 types d'enduits différents testés:
 - Enduit composé de sable, de paille et d'argile provenant d'une argilière wallonne
 - Enduit composé de granulats et d'un mélange de sable et d'argile en sac

Car

end

- 2



Tâche 2: Fiche technique des enduits

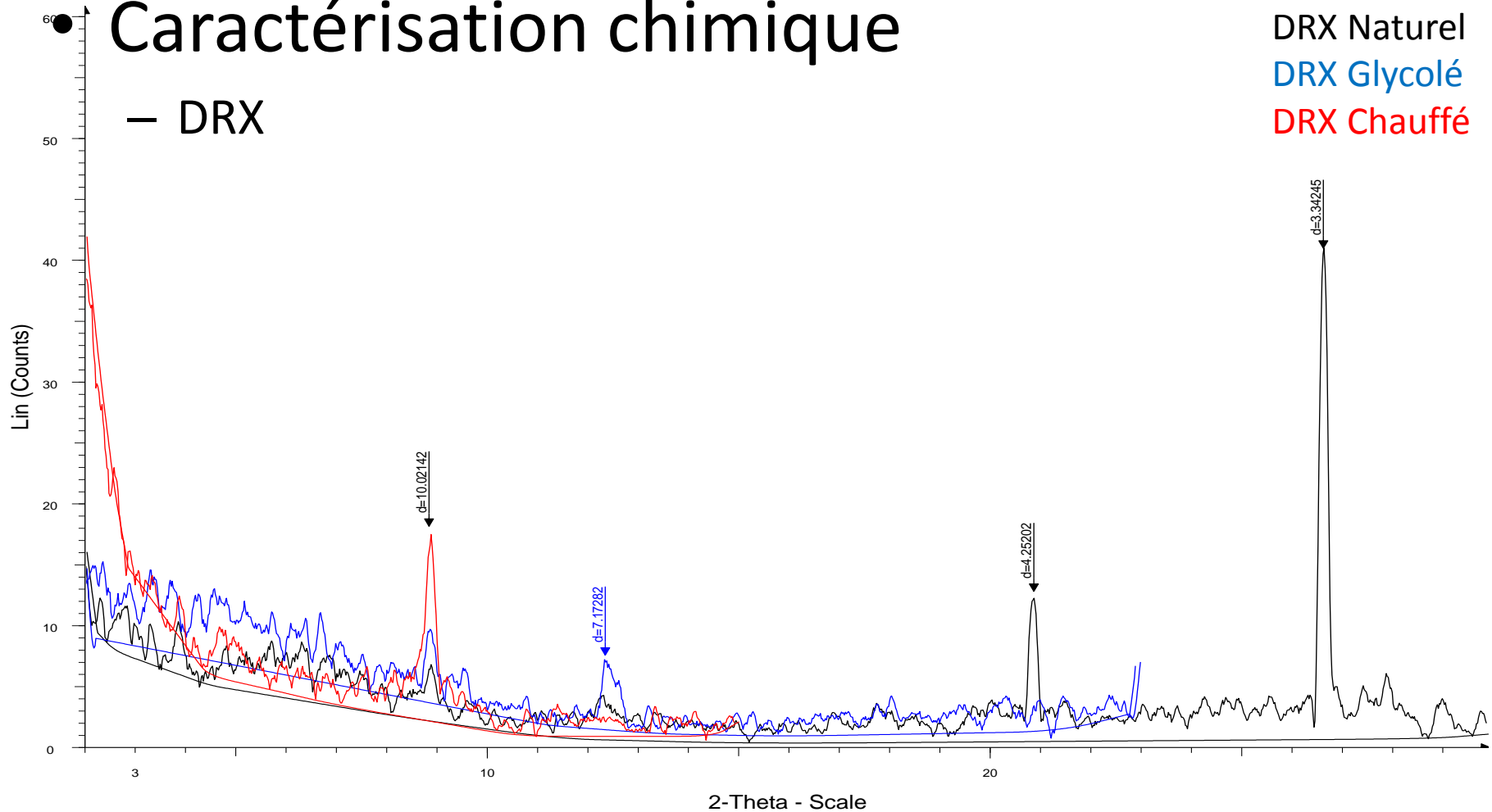
Tâche 2: Fiche technique des enduits

- Caractérisation chimique
 - DRX

Tâche 2: Fiche technique des enduits

● Caractérisation chimique

— DRX

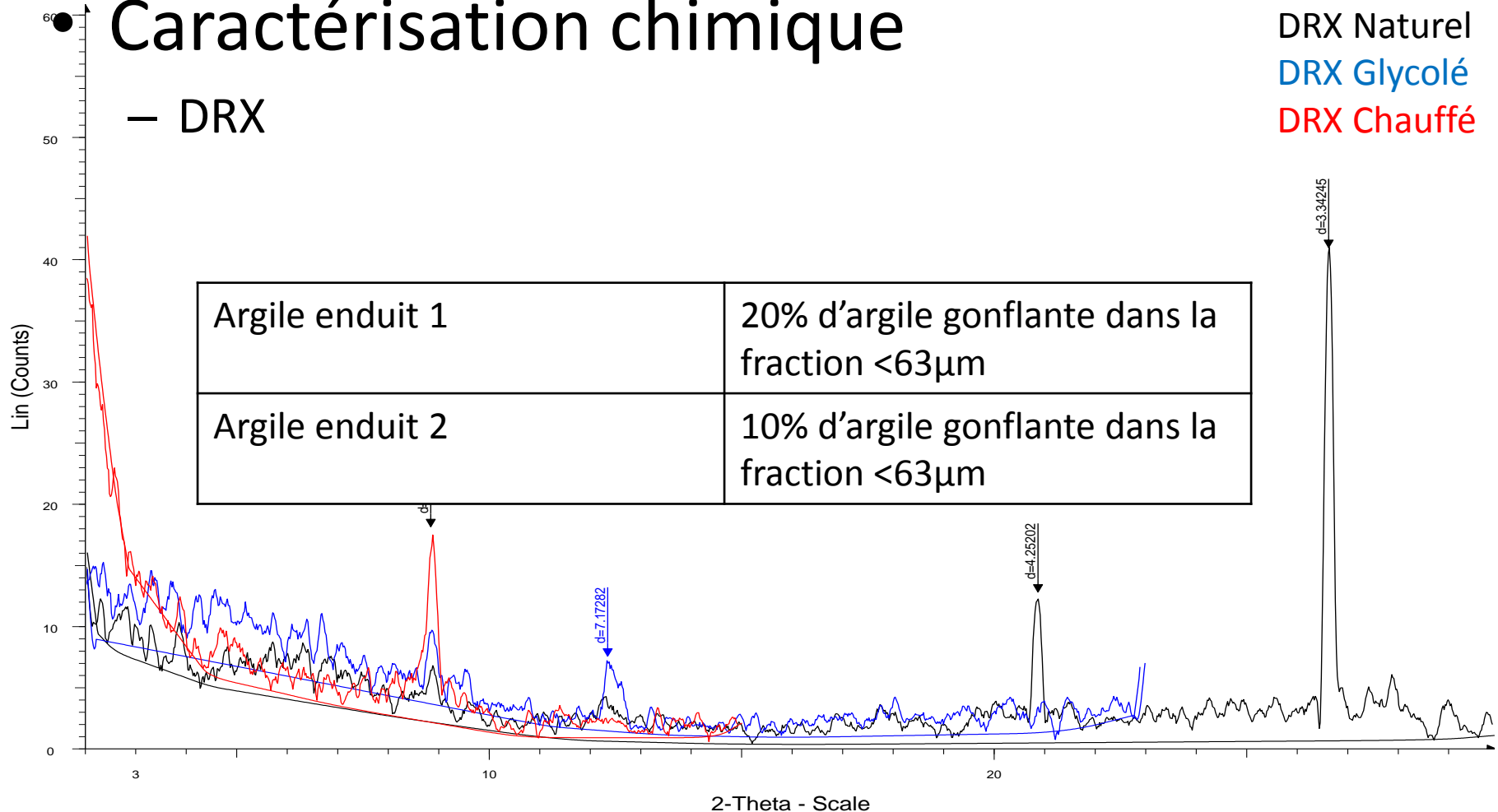


Tâche 2: Fiche technique des enduits

● Caractérisation chimique

— DRX

DRX Naturel
DRX Glycolé
DRX Chauffé



Tâche 2: Fiche technique des enduits

- Caractérisation chimique
 - DRX

Tâche 2: Fiche technique des enduits

- Caractérisation chimique
 - DRX
- Caractérisation Physique

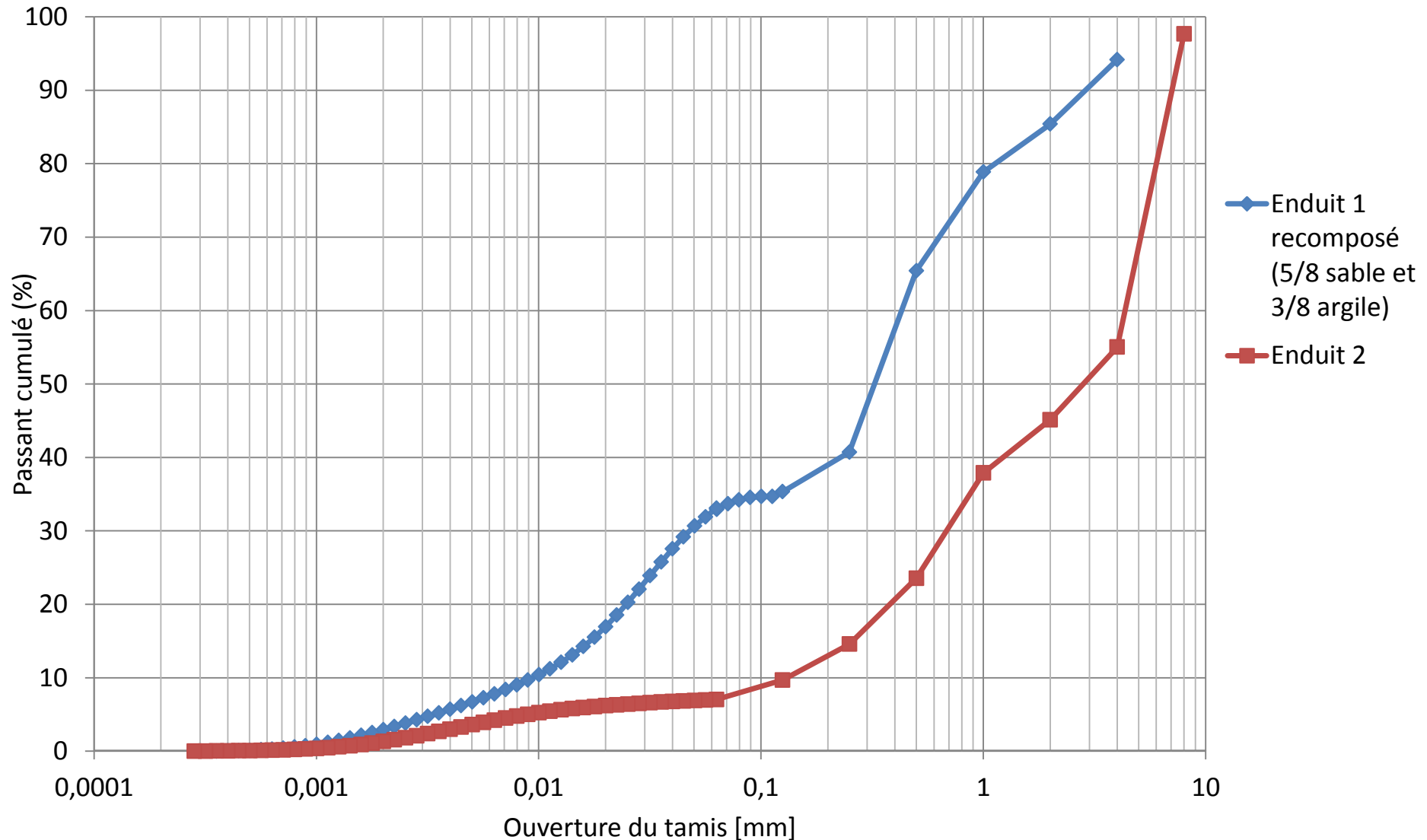
Tâche 2: Fiche technique des enduits

- Caractérisation chimique
 - DRX
- Caractérisation Physique
 - Analyse au bleu de méthylène

Tâche 2: Fiche technique des enduits

- Caractérisation chimique
 - DRX
- Caractérisation Physique
 - Analyse au bleu de méthylène
 - Granulométrie (voie sèche, humide et laser)

Tâche 2: Fiche technique des enduits



Tâche 2: Fiche technique des enduits

- Caractérisation chimique
 - DRX
- Caractérisation Physique
 - Analyse au bleu de méthylène
 - Granulométrie (voie sèche, humide et laser)

Tâche 2: Fiche technique des enduits

- Caractérisation chimique
 - DRX
- Caractérisation Physique
 - Analyse au bleu de méthylène
 - Granulométrie (voie sèche, humide et laser)
 - Demande en eau

Tâche 2: Fiche technique des enduits

- Caractérisation chimique
 - DRX
- Caractérisation Physique
 - Analyse au bleu de méthylène
 - Granulométrie (voie sèche, humide et laser)
 - Demande en eau
 - Limite d'Atterberg

Tâche 2: Fiche technique des enduits

- Caracté
 - DRX
- Caracté
 - Analyse
 - Granulo
 - Demanc
 - Limite d



Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- Sur les deux enduits prélevés chez Paille-Tech:

Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- Sur les deux enduits prélevés chez Paille-Tech:
 - Mesure de la masse volumique

Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- Sur les deux
- Mesure de



e-Tech:

Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- Sur les deux enduits prélevés chez Paille-Tech:
 - Mesure de la masse volumique

Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- Sur les deux enduits prélevés chez Paille-Tech:
 - Mesure de la masse volumique
 - Mesure de la porosité (Pycnométrie)

Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- Sur les deux enduits prélevés chez Paille-Tech:
 - Mesure de la masse volumique
 - Mesure de la porosité (Pycnométrie)

Echantillons	Pycnométrie à l'azote [kg/m³]	Masse volumique apparente [kg/m³]	Porosité déduite
Enduit n°1	2662	1752	34,2%
Enduit n°2	2728	2051	24,8%

Tâche 3: caractérisation hygrothermique

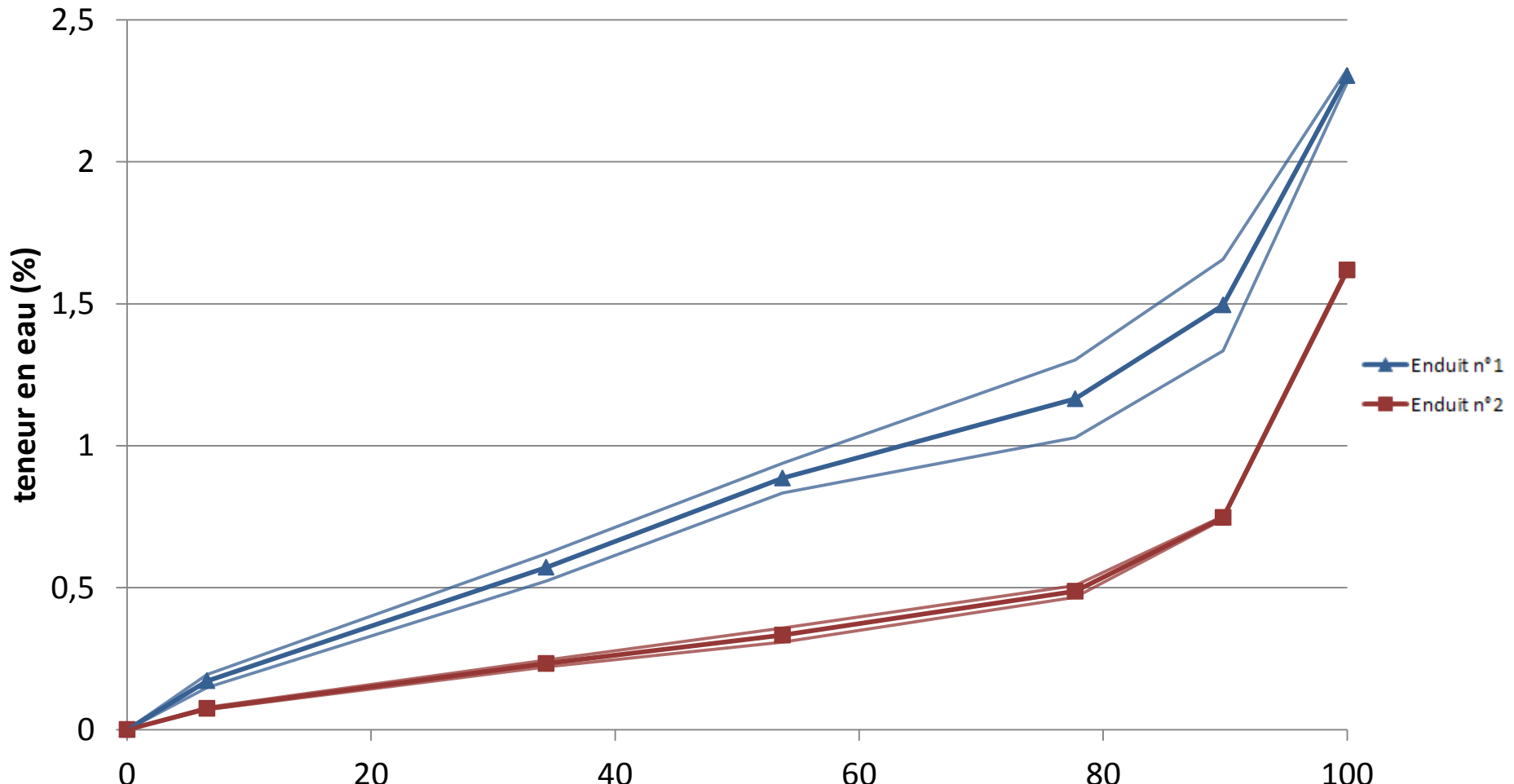
- Sur les deux enduits prélevés chez Paille-Tech:
 - Mesure de la masse volumique
 - Mesure de la porosité (Pycnométrie)

Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- Sur les deux enduits prélevés chez Paille-Tech:
 - Mesure de la masse volumique
 - Mesure de la porosité (Pycnométrie)
 - Courbe de sorption (solution saline + pressure plate)

Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- Sur les deux enduits prélevés chez Paille-Tech:



Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- Sur les deux enduits prélevés chez Paille-Tech:
 - Mesure de la masse volumique
 - Mesure de la porosité (Pycnométrie)
 - Courbe de sorption (solution saline + pressure plate)

Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- Sur les deux enduits prélevés chez Paille-Tech:
 - Mesure de la masse volumique
 - Mesure de la porosité (Pycnométrie)
 - Courbe de sorption (solution saline + pressure plate)
 - Perméabilité à la vapeur sèche et humide

Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- Sur



e)

Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- Sur les deux enduits prélevés chez Paille-Tech:
 - Mesure de la masse volumique
 - Mesure de la porosité (Pycnométrie)
 - Courbe de sorption (solution saline + pressure plate)
 - Perméabilité à la vapeur sèche et humide

Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- Sur les deux enduits prélevés chez Paille-Tech:
 - Mesure de la masse volumique
 - Mesure de la porosité (Pycnométrie)
 - Courbe de sorption (solution saline + pressure plate)
 - Perméabilité à la vapeur sèche et humide
 - Absorption capillaire

Tâche 3: caractérisation hygrothermique

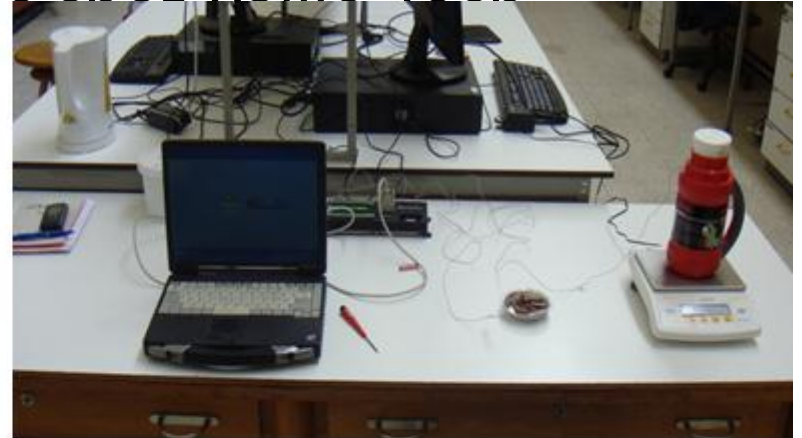
- Sur les deux enduits prélevés chez Paille-Tech:
 - Mesure de la masse volumique
 - Mesure de la porosité (Pycnométrie)
 - Courbe de sorption (solution saline + pressure plate)
 - Perméabilité à la vapeur sèche et humide
 - Absorption capillaire
 - Absorption d'eau totale

Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- Sur les deux enduits prélevés chez Paille-Tech:
 - Mesure de la masse volumique
 - Mesure de la porosité (Pycnométrie)
 - Courbe de sorption (solution saline + pressure plate)
 - Perméabilité à la vapeur sèche et humide
 - Absorption capillaire
 - Absorption d'eau totale
 - Mesure de la chaleur massique

Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- ~~Compte rendu de l'expérience / Leçon 10 - Dr. H. T. ...~~



Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- Sur les deux enduits prélevés chez Paille-Tech:
 - Mesure de la masse volumique
 - Mesure de la porosité (Pycnométrie)
 - Courbe de sorption (solution saline + pressure plate)
 - Perméabilité à la vapeur sèche et humide
 - Absorption capillaire
 - Absorption d'eau totale
 - Mesure de la chaleur massique

Caractérisation hygrothermique de la paille

Caractérisation hygrothermique de la paille

- Ballot de froment de 36cmx46cmx80cm

Caractérisation hygrothermique de la paille

- Ballot de froment de 36cmx46cmx80cm
 - Masse volumique de 100 kg/m³

Caractérisation hygrothermique de la paille

- Ballot de froment de 36cmx46cmx80cm
 - Masse volumique de 100 kg/m³
 - Orientation « perpendiculaire de la fibre lorsque le ballot est à plat »

Caractérisation hygrothermique de la paille

- Balles
 - M
 - O
 - ba



ue le

Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- Sur les ballots

Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- Sur les ballots
 - Mesure de la masse volumique

Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- Sur les ballots
 - Mesure de la masse volumique
 - Mesure de la porosité

Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- Sur les ballots
 - Mesure de la masse volumique
 - Mesure de la porosité

Echantillons	Pycnométrie à l'azote [kg/m³]	Masse volumique apparente [kg/m³]	Porosité déduite
Paille	1501	100	93%

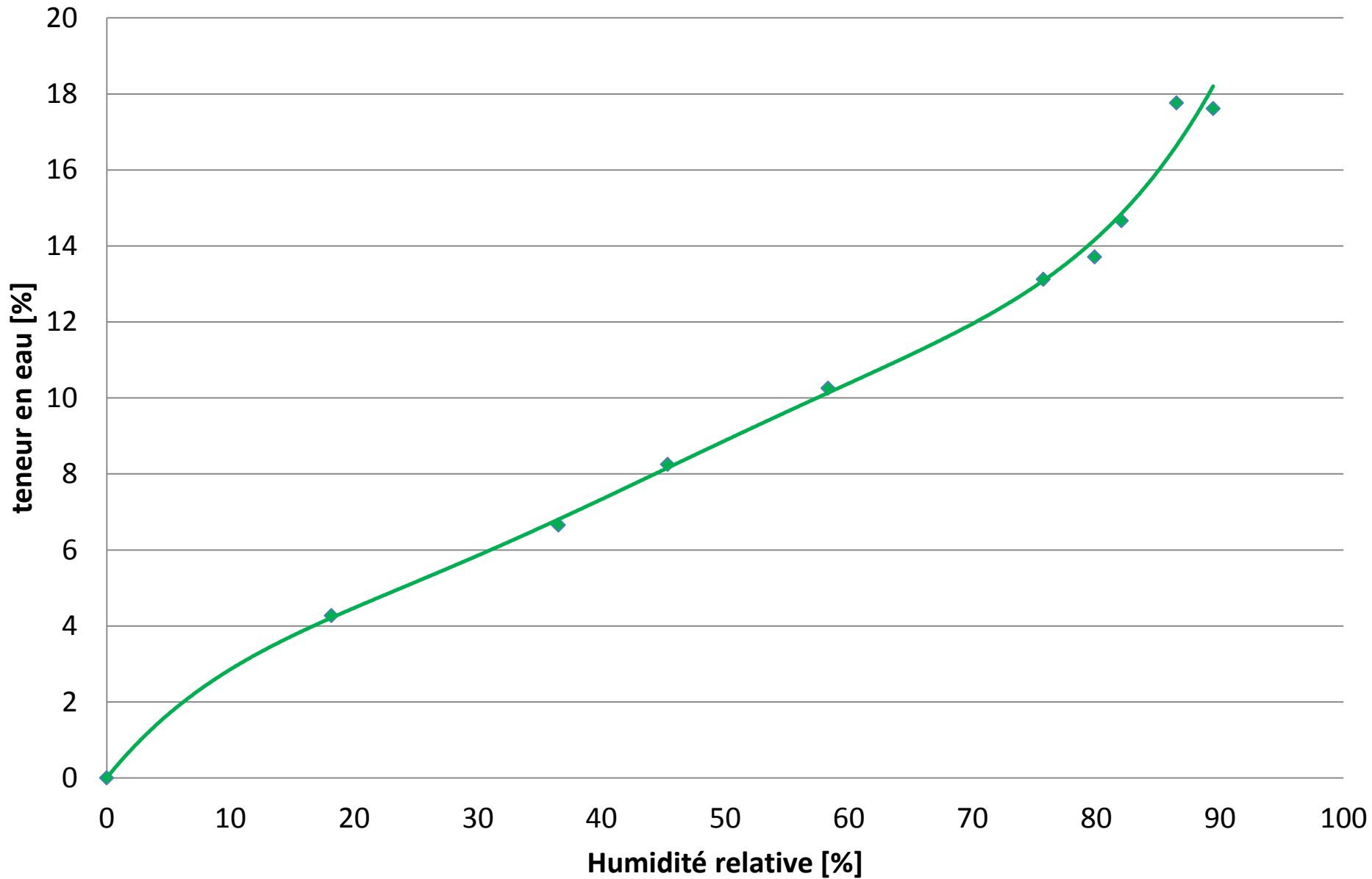
Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- Sur les ballots
 - Mesure de la masse volumique
 - Mesure de la porosité

Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- Sur les ballots
 - Mesure de la masse volumique
 - Mesure de la porosité
 - Courbe de sorption (solution saline)

courbe de sorption sur la paille



Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- Sur les ballots
 - Mesure de la masse volumique
 - Mesure de la porosité
 - Courbe de sorption (solution saline)

Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- Sur les ballots
 - Mesure de la masse volumique
 - Mesure de la porosité
 - Courbe de sorption (solution saline)
 - Perméabilité à la vapeur

Tâche 3: caractérisation hygrothermique



Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- Sur les ballots
 - Mesure de la masse volumique
 - Mesure de la porosité
 - Courbe de sorption (solution saline)
 - Perméabilité à la vapeur

Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- Sur les ballots
 - Mesure de la masse volumique
 - Mesure de la porosité
 - Courbe de sorption (solution saline)
 - Perméabilité à la vapeur
 - Absorption capillaire

Tâche 3: caractérisation hygrothermique

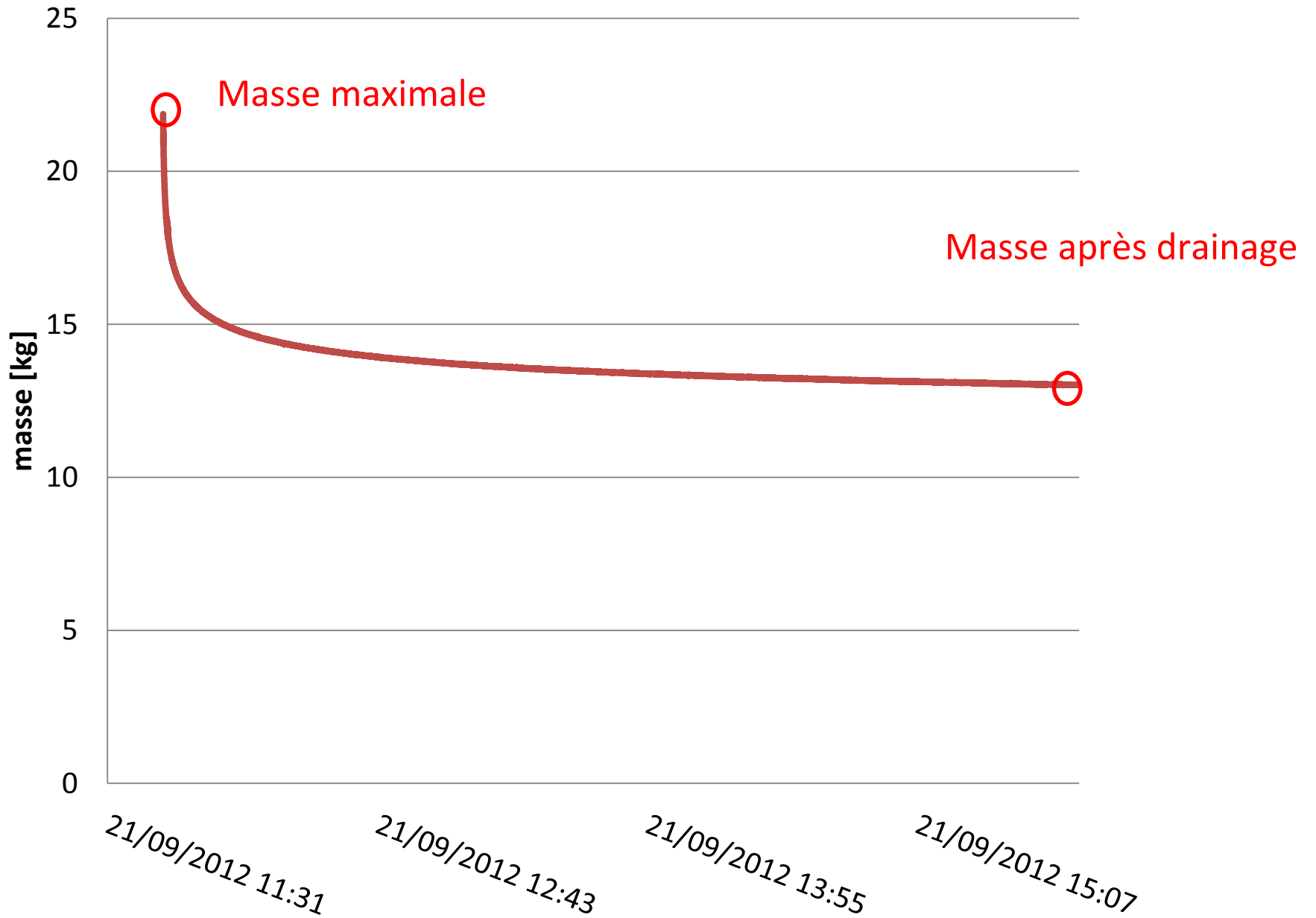


Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- Sur les ballots
 - Mesure de la masse volumique
 - Mesure de la porosité
 - Courbe de sorption (solution saline)
 - Perméabilité à la vapeur
 - Absorption capillaire

Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- Sur les ballots
 - Mesure de la masse volumique
 - Mesure de la porosité
 - Courbe de sorption (solution saline)
 - Perméabilité à la vapeur
 - Absorption capillaire
 - Absorption d'eau totale



Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- Sur les ballots
 - Mesure de la masse volumique
 - Mesure de la porosité
 - Courbe de sorption (solution saline)
 - Perméabilité à la vapeur
 - Absorption capillaire
 - Absorption d'eau totale

Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- Sur les ballots
 - Mesure de la masse volumique
 - Mesure de la porosité
 - Courbe de sorption (solution saline)
 - Perméabilité à la vapeur

Echantillon	Masse initiale [kg]	Point maximal			Après drainage		
		Masse [kg]	Absorption [%]	% de porosité remplie	Masse [kg]	Absorption [%]	% de porosité remplie
B1	4,28	21,87	411	56	13,01	203,9	33
B2	5,14	25,99	406	54	15,37	199,3	32

Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- Sur les ballots
 - Mesure de la masse volumique
 - Mesure de la porosité
 - Courbe de sorption (solution saline)
 - Perméabilité à la vapeur
 - Absorption capillaire
 - Absorption d'eau totale

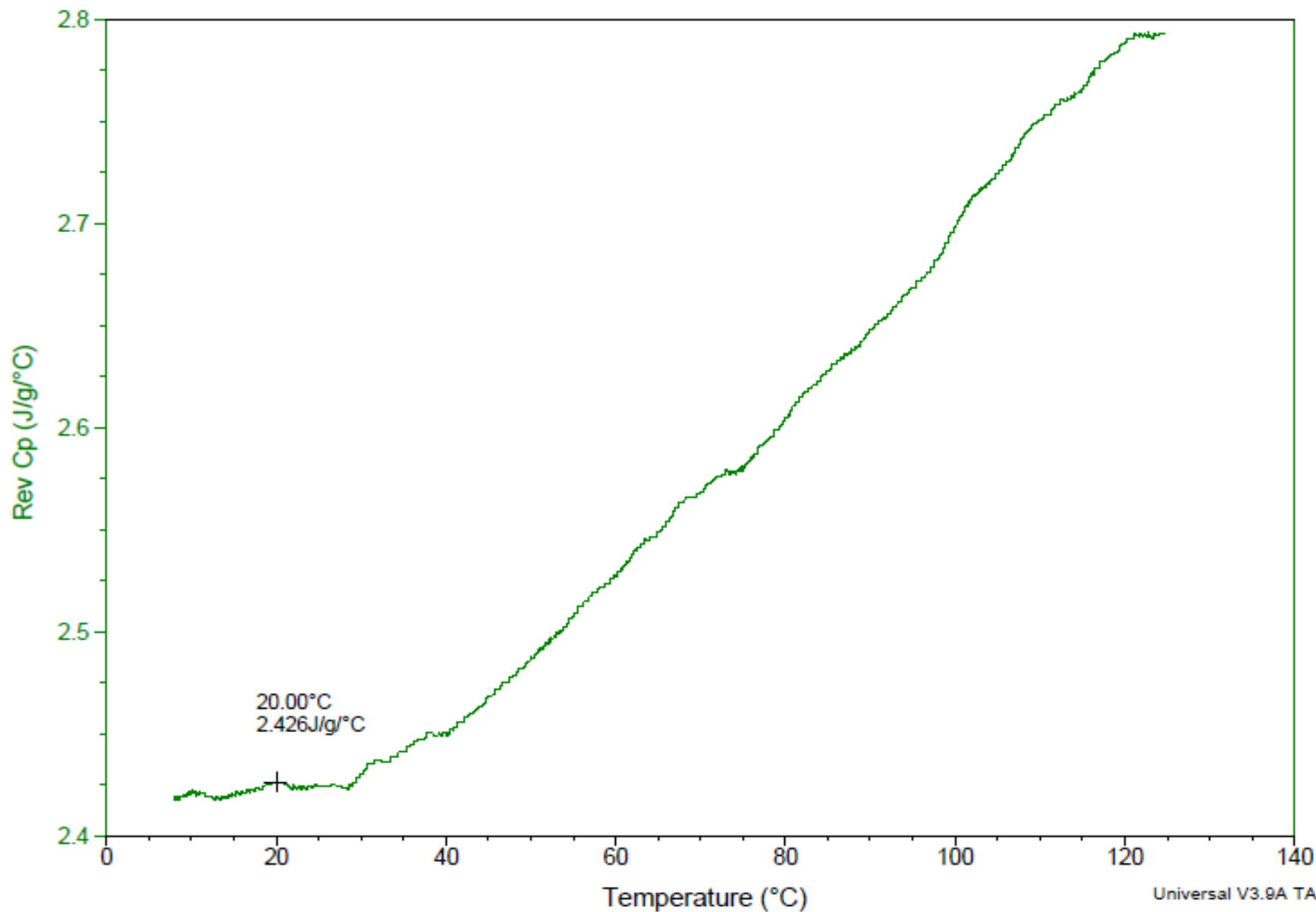
Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- Sur les ballots
 - Mesure de la masse volumique
 - Mesure de la porosité
 - Courbe de sorption (solution saline)
 - Perméabilité à la vapeur
 - Absorption capillaire
 - Absorption d'eau totale
 - Mesure de la chaleur massique par ATD

Sample: paille
Size: 3.4900 mg
Method: paille R1.5A0.5P100
Comment: mod R1.5A0.5P100 alh

DSC

File: 20130117.001 paille modulée R1.5 A0.5...
Operator: Lynn
Run Date: 17-Jan-13 08:41
Instrument: 2920 MDSC V2.6A



Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- Sur les ballots
 - Mesure de la masse volumique
 - Mesure de la porosité
 - Courbe de sorption (solution saline)
 - Perméabilité à la vapeur
 - Absorption capillaire
 - Absorption d'eau totale
 - Mesure de la chaleur massique par ATD

Tâche 3: caractérisation hygrothermique

- Sur les ballots
 - Mesure de la masse volumique
 - Mesure de la porosité
 - Courbe de sorption (solution saline)
 - Perméabilité à la vapeur
 - Absorption capillaire
 - Absorption d'eau totale
 - Mesure de la chaleur massique par ATD
 - Mesure de la conductivité thermique

Paille: mesure de la conductivité thermique

Paille: mesure de la conductivité thermique

- Ballot de paille = grande épaisseur

Paille: mesure de la conductivité thermique

- Ballot de paille = grande épaisseur



Impossible à tester en entier avec les appareils disponibles sur le marché Belge

Paille: mesure de la conductivité thermique

- Ballot de paille = grande épaisseur

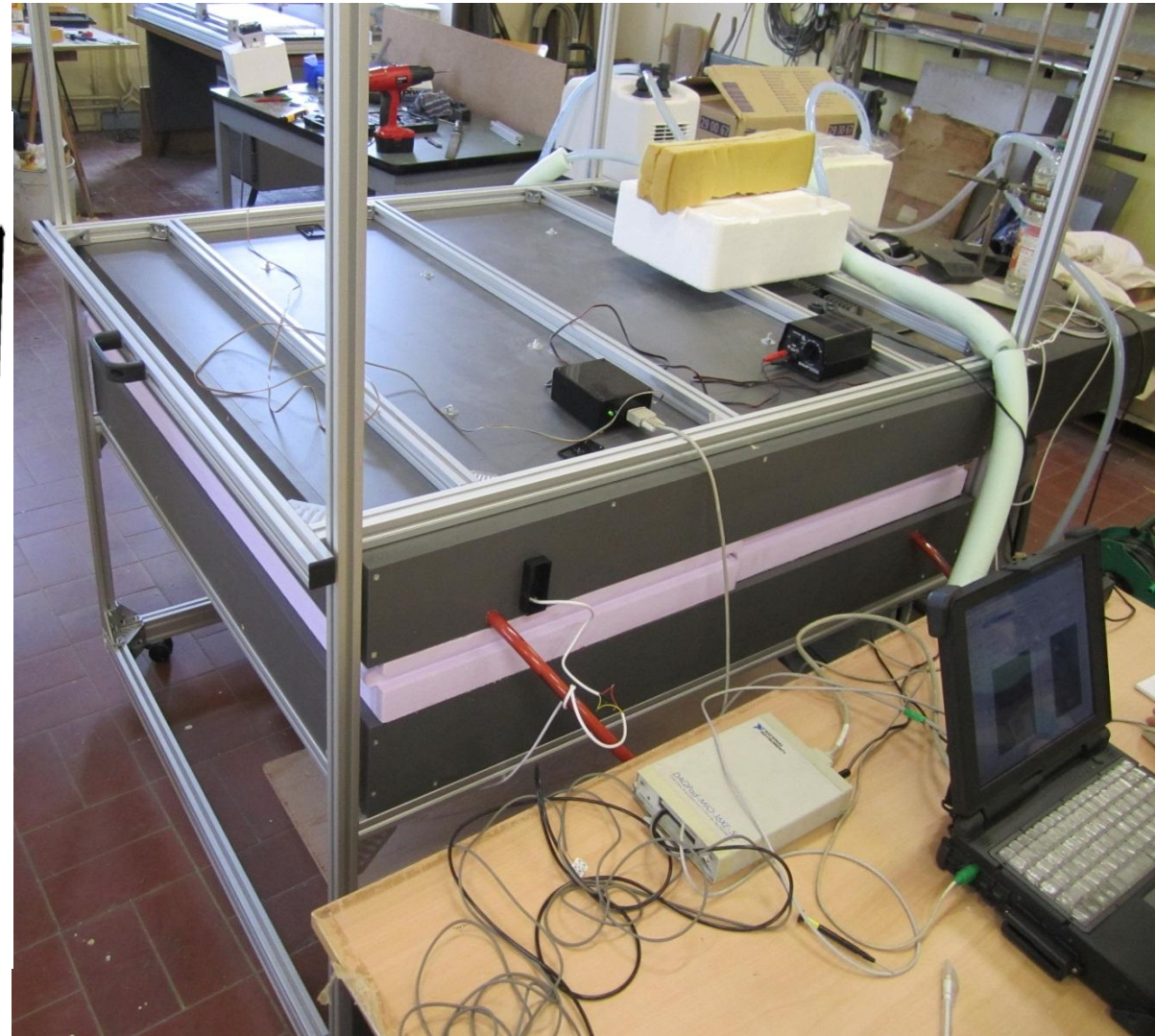
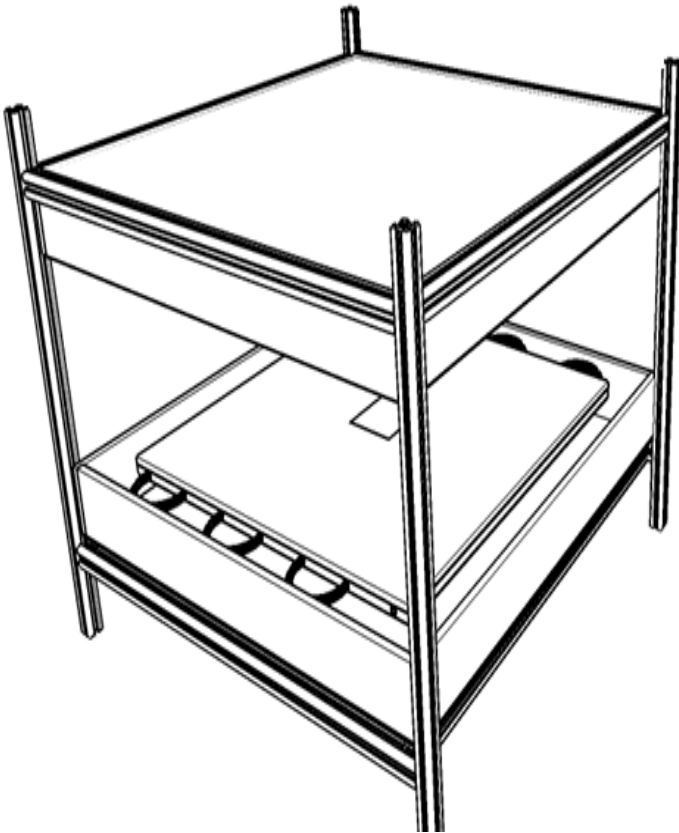


Impossible à tester en entier avec les appareils disponibles sur le marché Belge



Réalisation d'une plaque chaude gardée à une éprouvette de grande dimension (1m) capable de les tester (Norme ISO 8302 ; Modélisation Comsol (Samuel Dubois))

Paille: mesure de la conductivité thermique



Ballot: conductivité thermique

Ballot: conductivité thermique

- Calibration de la plaque chaude réalisée avec des matériaux témoins (+ plaques CSTC) [$<1\%$ dans tous les cas]

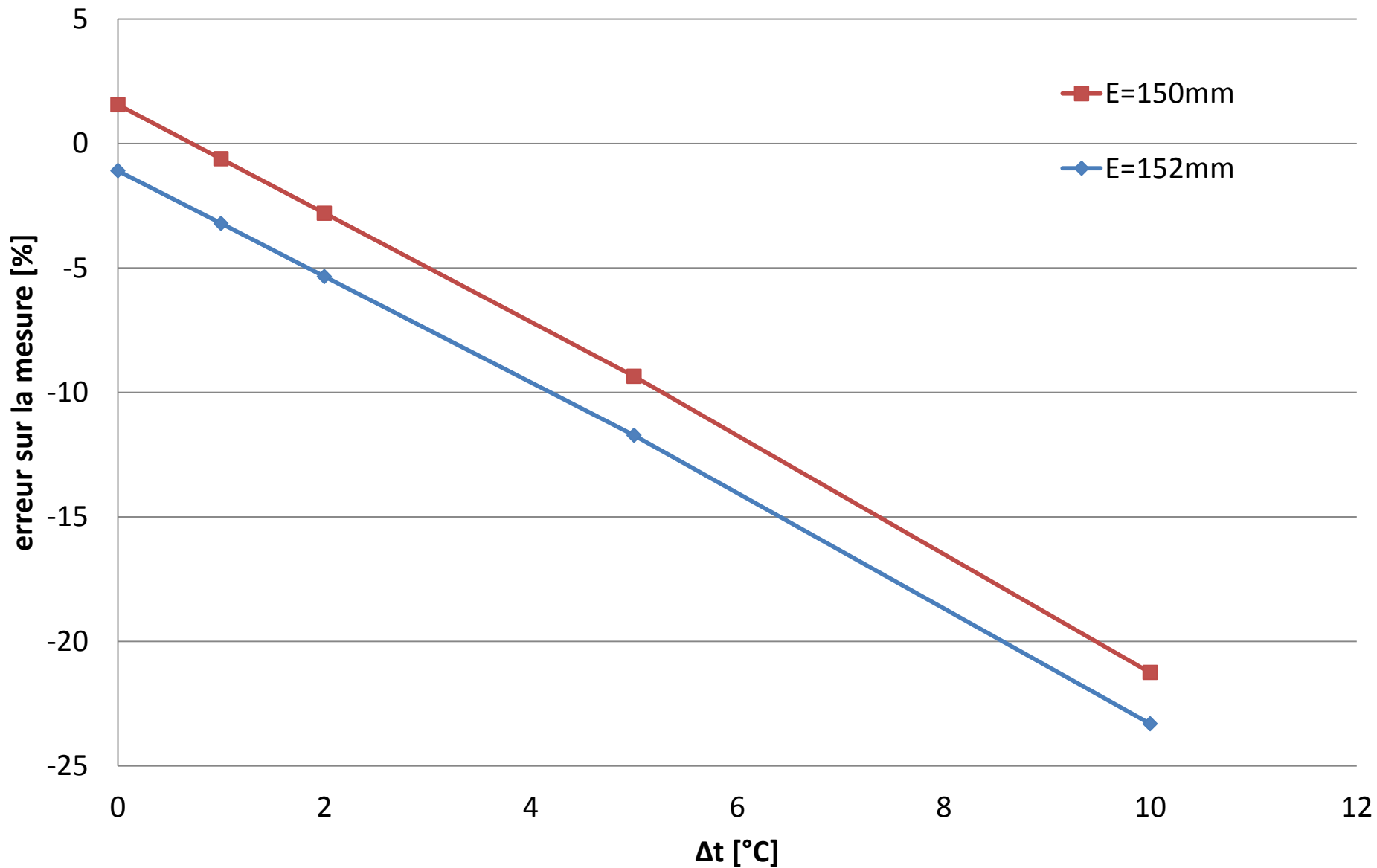
Ballot: conductivité thermique

- Calibration de la plaque chaude réalisée avec des matériaux témoins (+ plaques CSTC) [$<1\%$ dans tous les cas]
- Etude de l'erreur potentielle réalisée par Samuel (au moyen de simulation)

Ballot: conductivité thermique

- Calibration de la plaque chaude réalisée avec des matériaux témoins (+ plaques CSTC) [$<1\%$ dans tous les cas]
- Etude de l'erreur potentielle réalisée par Samuel (au moyen de simulation)
 - Ballot \rightarrow grande influence de T_{moy} et T_{ext}

Evolution de l'erreur potentielle en fonction de la variation entre la température moyenne de l'essai et la température extérieure



Paille: mesure de la conductivité thermique

Paille: mesure de la conductivité thermique

- Protocole:

Paille: mesure de la conductivité thermique

- Protocole:
 - Réalisation de cadre d'1m x 1m

Paille: mesure de la conductivité thermique

- Proc

—



Paille: mesure de la conductivité thermique

- Protocole:
 - Réalisation de cadre d'1m x 1m

Paille: mesure de la conductivité thermique

- Protocole:
 - Réalisation de cadre d'1m x 1m
 - Séchage

Paille: mesure de la conductivité thermique

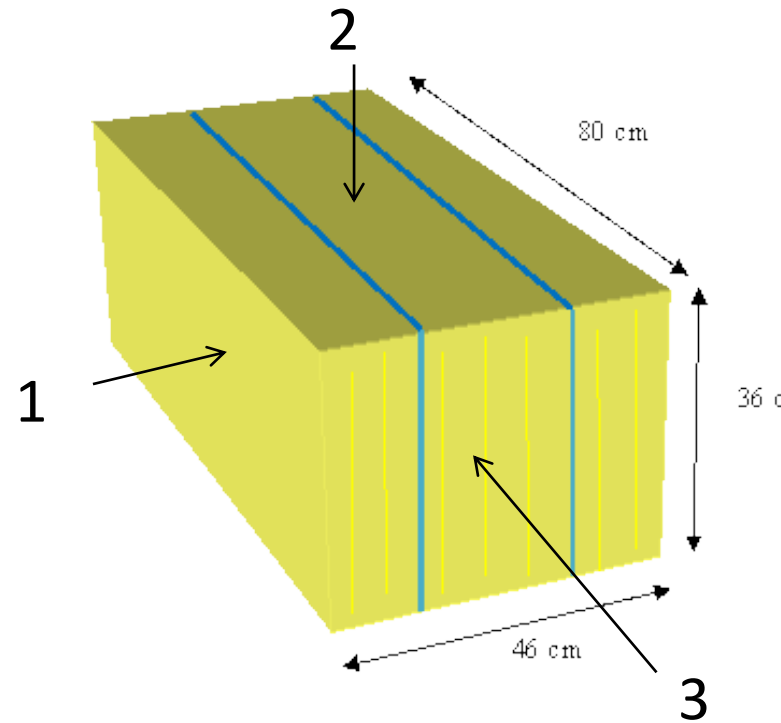
- Protocole:
 - Réalisation de cadre d'1m x 1m
 - Séchage
 - Détermination de la masse volumique

Paille: mesure de la conductivité thermique

- Protocole:
 - Réalisation de cadre d'1m x 1m
 - Séchage
 - Détermination de la masse volumique
 - Essais à 3 températures moyennes proche de la température moyenne du local (20°C)

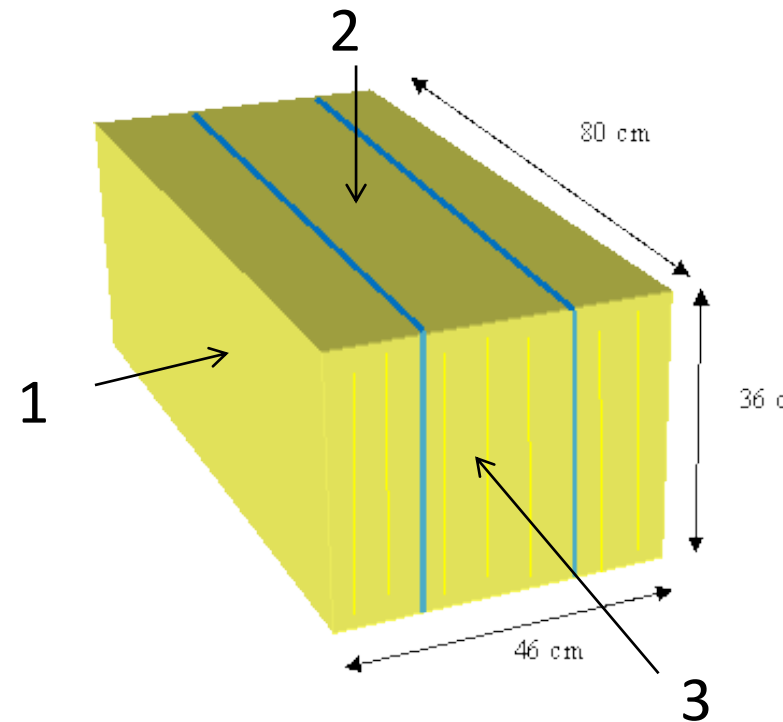
Paille: mesure de la conductivité thermique

Paille: mesure de la conductivité thermique



Paille: mesure de la conductivité thermique

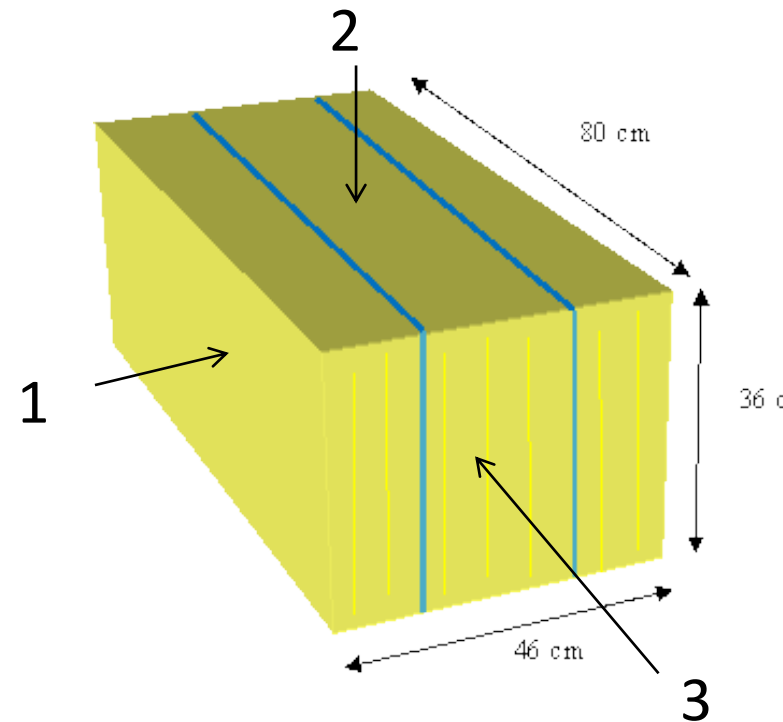
Orientation du flux	Ep. [cm]	λ sec [W/m.K]
---------------------	----------	-----------------------



Le λ a été mesuré à une température moyenne de 20°C.

Paille: mesure de la conductivité thermique

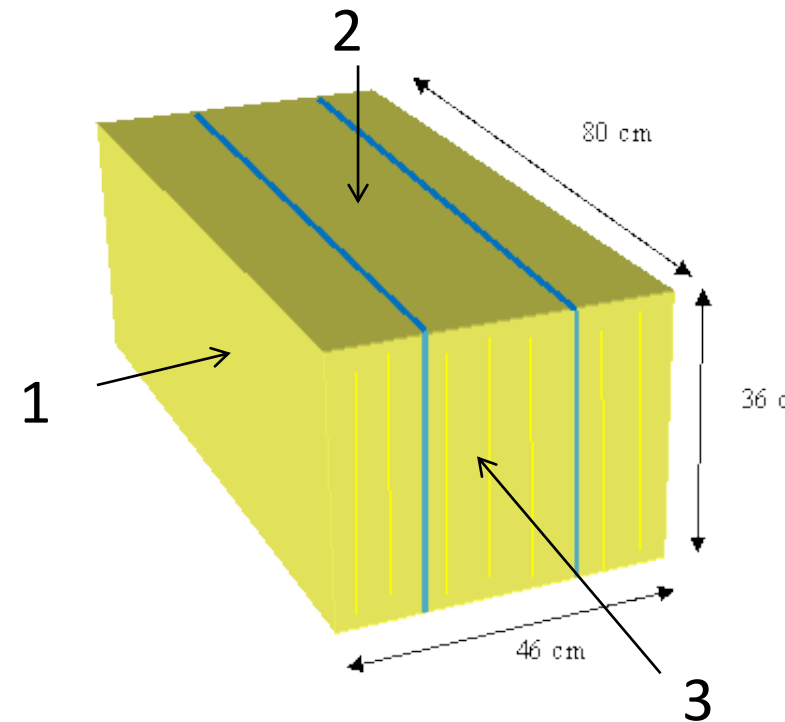
Orientation du flux	Ep. [cm]	λ sec [W/m.K]
1	46	0,0635 (1 ^{ère} mesure) 0,0621 (2 ^{ème} mesure)



Le λ a été mesuré à une température moyenne de 20°C.

Paille: mesure de la conductivité thermique

Orientation du flux	Ep. [cm]	λ sec [W/m.K]
1	46	0,0635 (1 ^{ère} mesure) 0,0621 (2 ^{ème} mesure)
2	38	0,0682

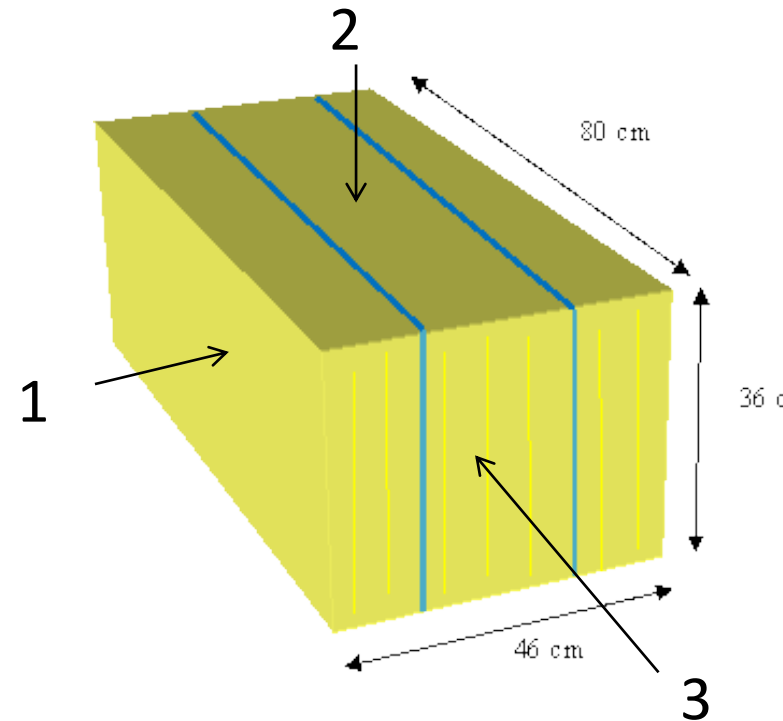


Le λ a été mesuré à une température moyenne de 20°C.

Paille: mesure de la conductivité thermique

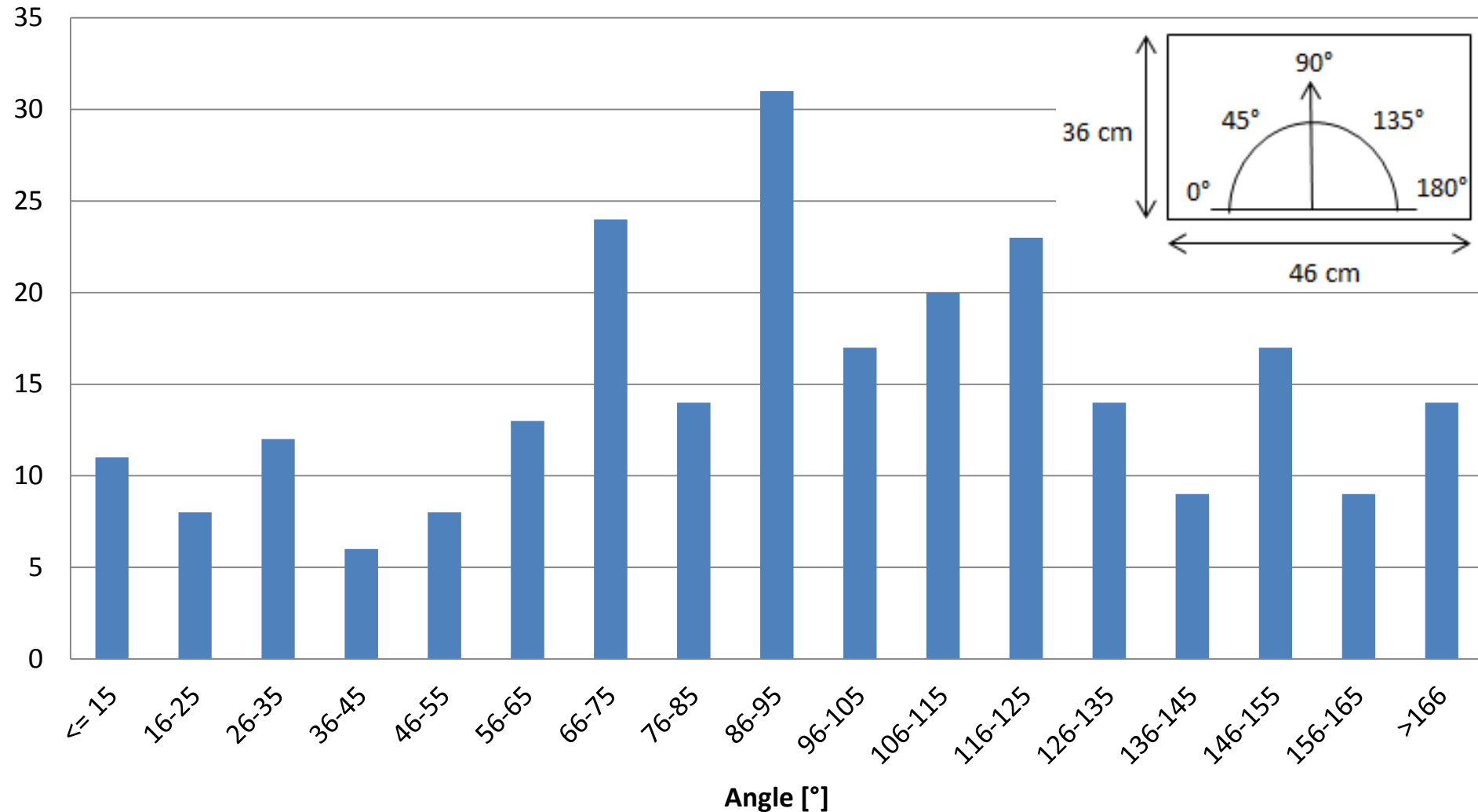
Orientation du flux	Ep. [cm]	λ sec [W/m.K]
1	46	0,0635 (1 ^{ère} mesure) 0,0621 (2 ^{ème} mesure)
2	38	0,0682
3	10	0,0461

Le λ a été mesuré à une température moyenne de 20°C.



Paille: mesure de la conductivité thermique

Orientation des brins de paille dans un ballot (total de 250 brins)



Mesure tableau comparatif avec réf

Mesure tableau comparatif avec réf

Paramètre	Unité	Ballot de Paille	
		Ballot testé	Référence
Masse volumique	[kg.m ⁻³]	100	100 (Agriculteur)
Porosité	[%]	93	90 (Wihan J.)
Résistance à la diffusion de vapeur d'eau « humide »	[-]	Essai en cours	2 (Wihan J.)
Résistance à la diffusion de vapeur d'eau « sèche »	[-]	Essai en cours	2 (Wihan J.)
Absorption capillaire	[kg.m ⁻² .s ^{-1/2}]	0,0125 à 0,0175*	0,05 (Wufi)
Absorption totale	[%]	203,9	100 (Wihan J.)
Chaleur massique	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	2426	2000 (Wihan J.)
Conductivité thermique	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	0,046 à 0,068*	0,04 à 0,08 (en fonction des auteurs)

(* les données varient en fonction de l'orientation du ballot.)

Mesure tableau comparatif avec réf

Paramètre	Unité	Ballot de Paille		Enduit		
		Ballot testé	Référence	Enduit n°1	Enduit n°2	Référence
Masse volumique	[kg.m ⁻³]	100	100 (Agriculteur)	1752	2051	1600-2000
Porosité	[%]	93	90 (Wihan J.)	34,2	24,8	30 (Wufi)
Résistance à la diffusion de vapeur d'eau « humide »	[-]	Essai en cours	2 (Wihan J.)	13,1	18,4	8 (Whian J.)
Résistance à la diffusion de vapeur d'eau « sèche »	[-]	Essai en cours	2 (Wihan J.)	10,2	18,5	8 (Whian J.)
Absorption capillaire	[kg.m ⁻² .s ^{-1/2}]	0,0125 à 0,0175*	0,05 (Wufi)	0,072	Essai en cours	0,068 (Staube)
Absorption totale	[%]	203,9	100 (Wihan J.)	21,1	8,8	8 (Wufi) mais ici bonne corrélation avec les mesures pF
Chaleur massique	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	2426	2000 (Wihan J.)	820	750	850 (Wihan J.)
Conductivité thermique	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	0,046 à 0,068*	0,04 à 0,08 (en fonction des auteurs)			1 (Argilus)

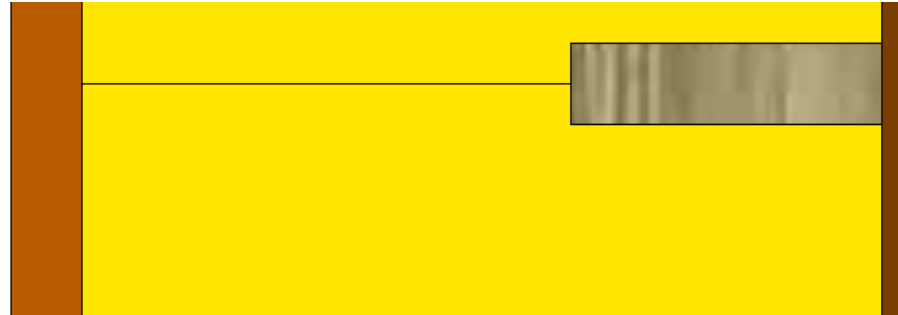
(* les données varient en fonction de l'orientation du ballot.)

Essai enceinte



Essai enceinte

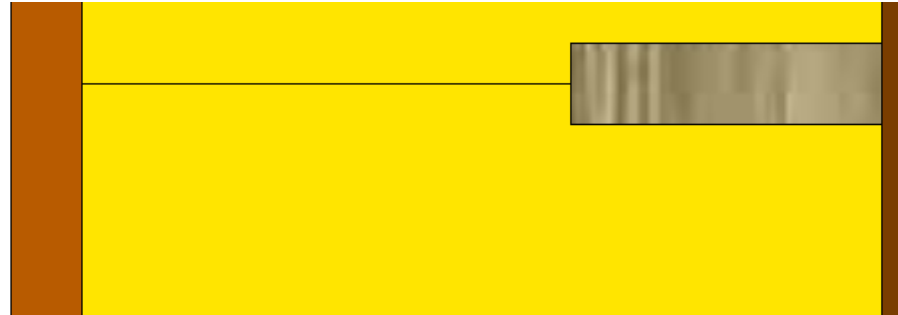
Côté intérieur



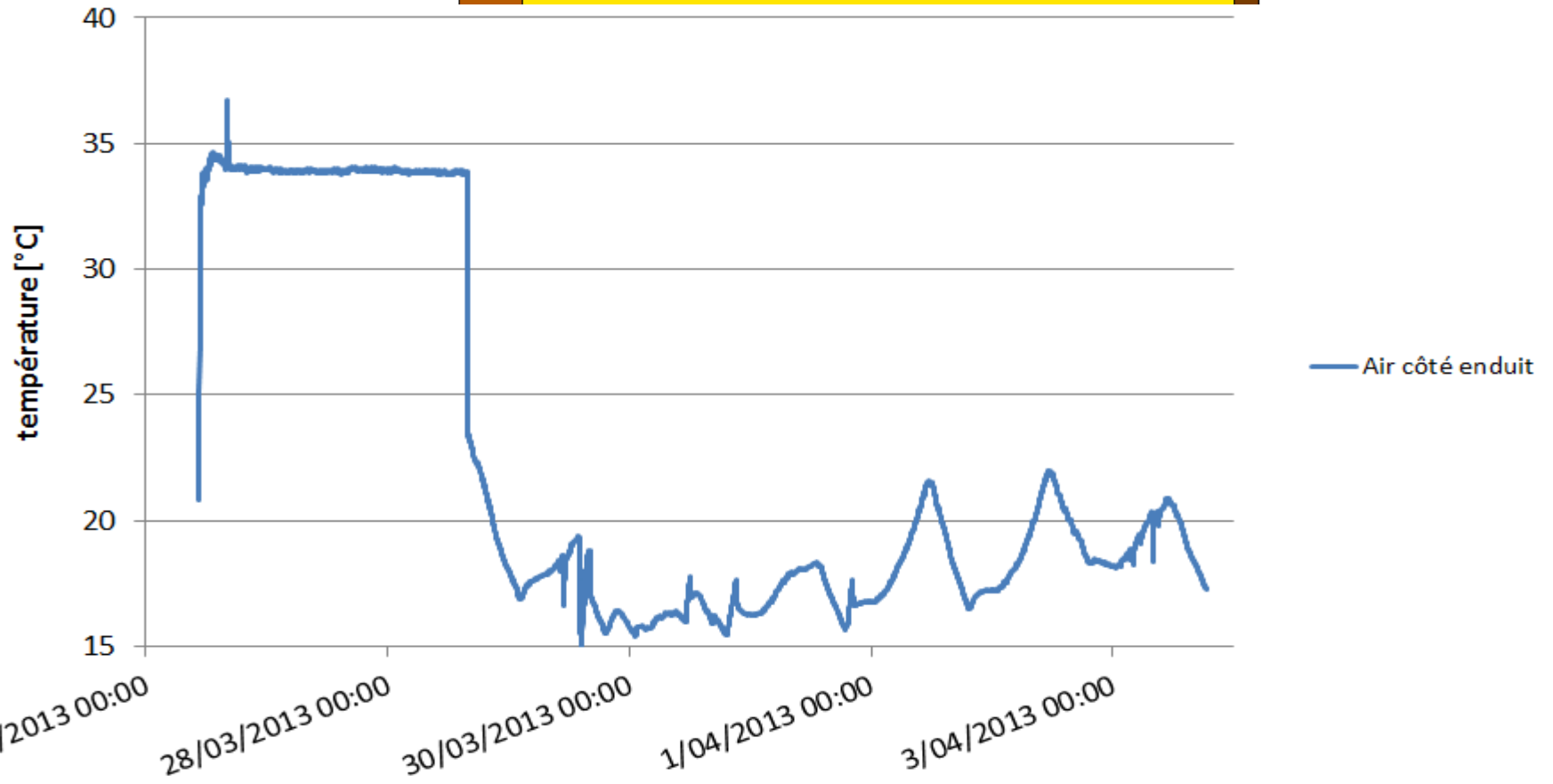
Côté extérieur

Essai enceinte

Côté intérieur

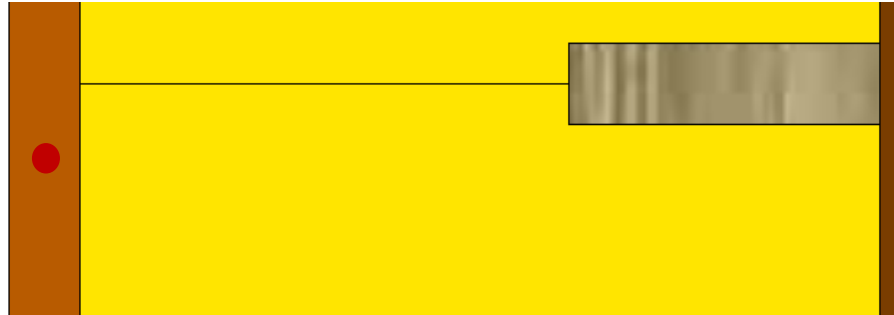


Côté extérieur

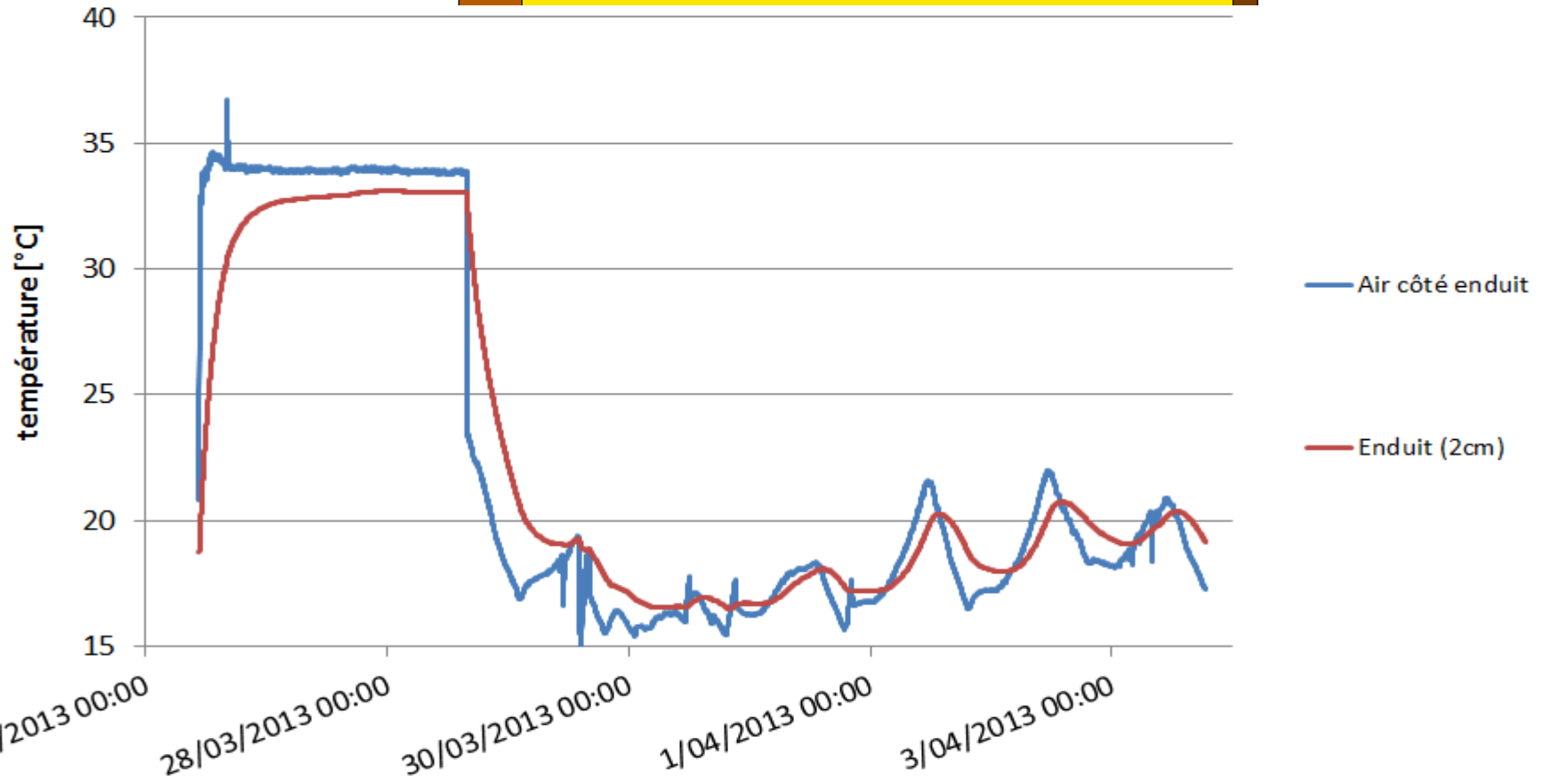


Essai enceinte

Côté intérieur



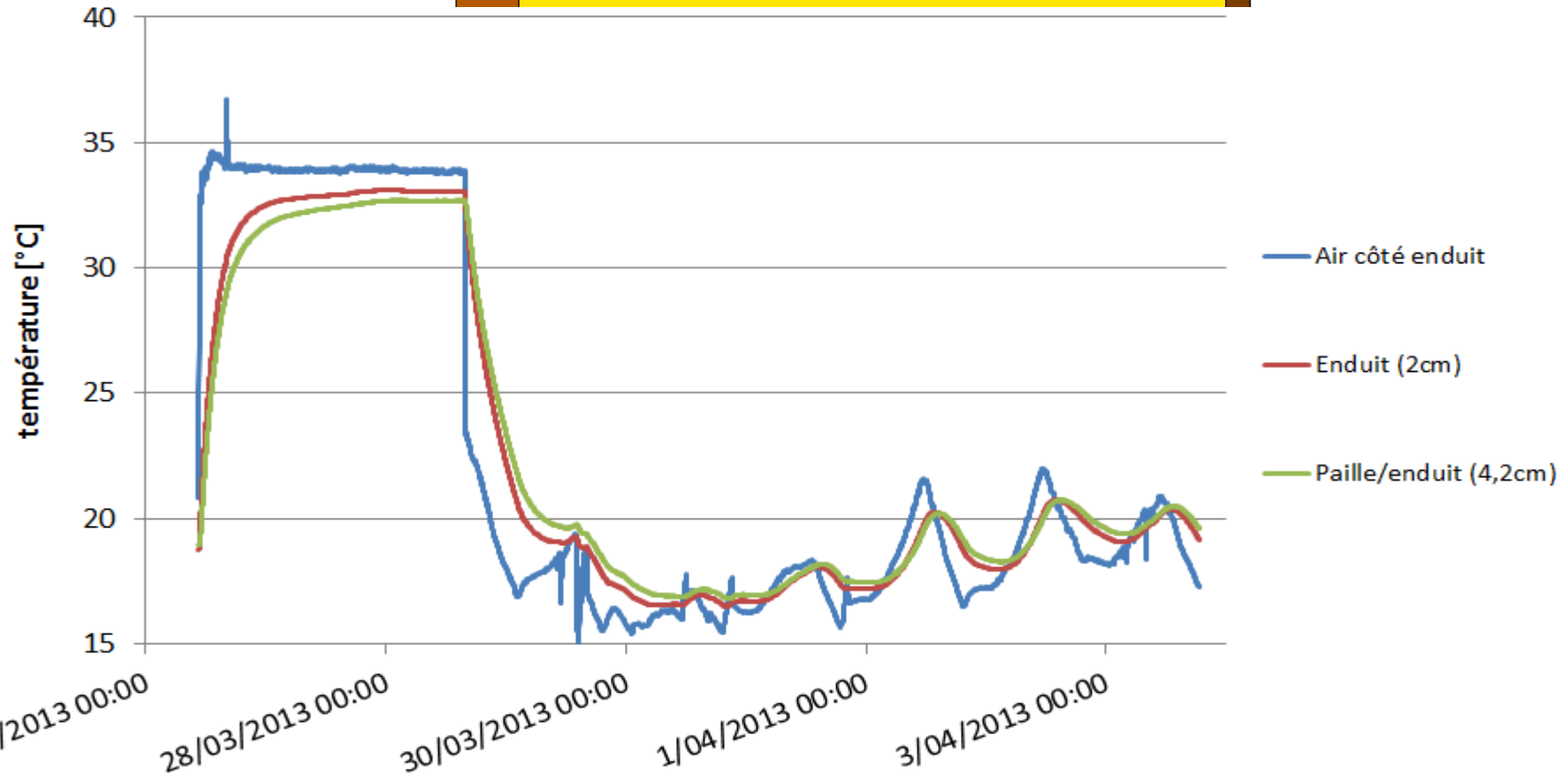
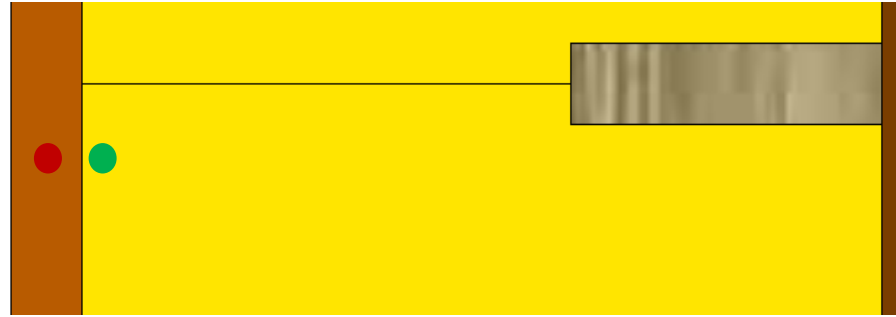
Côté extérieur



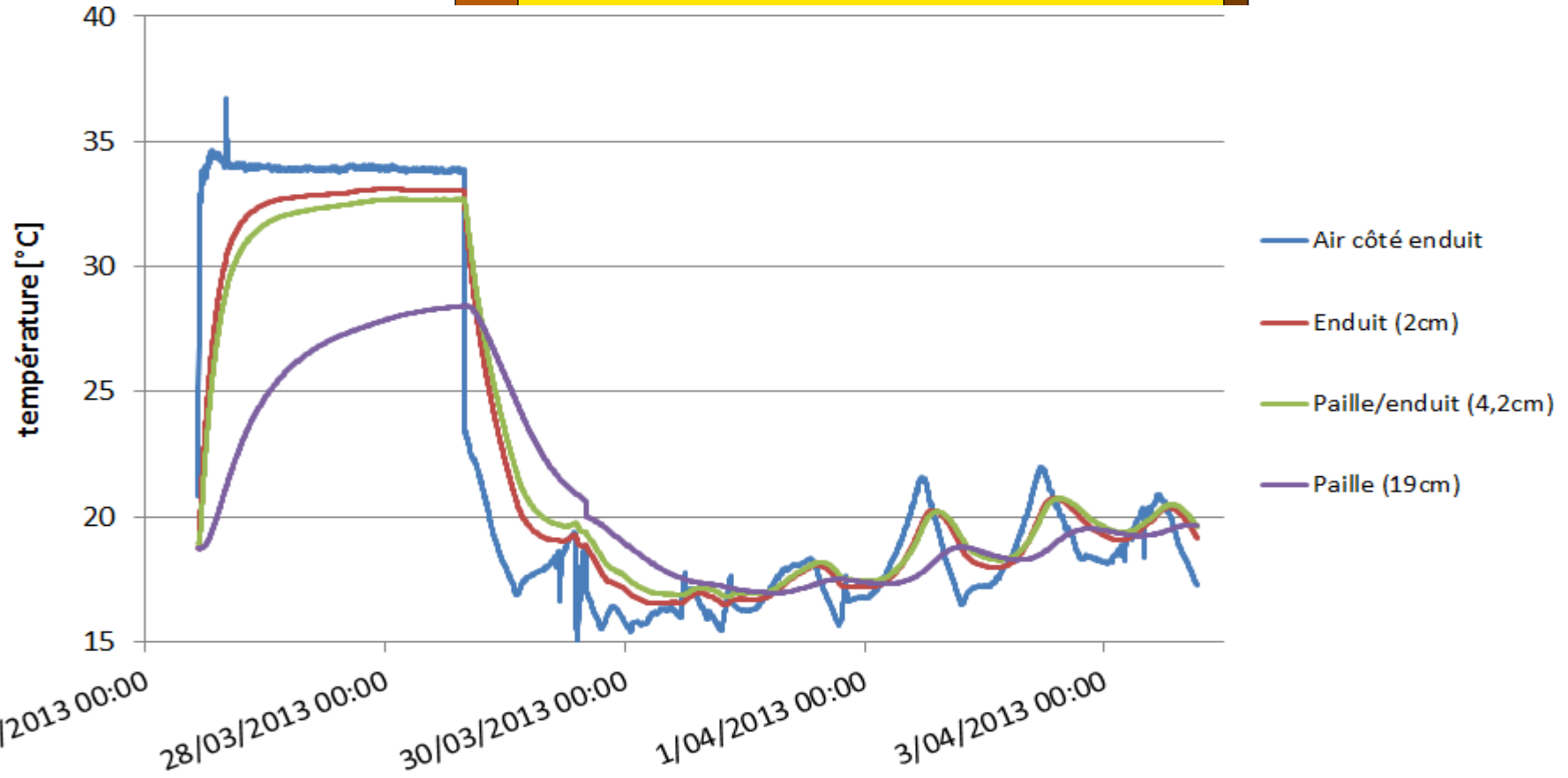
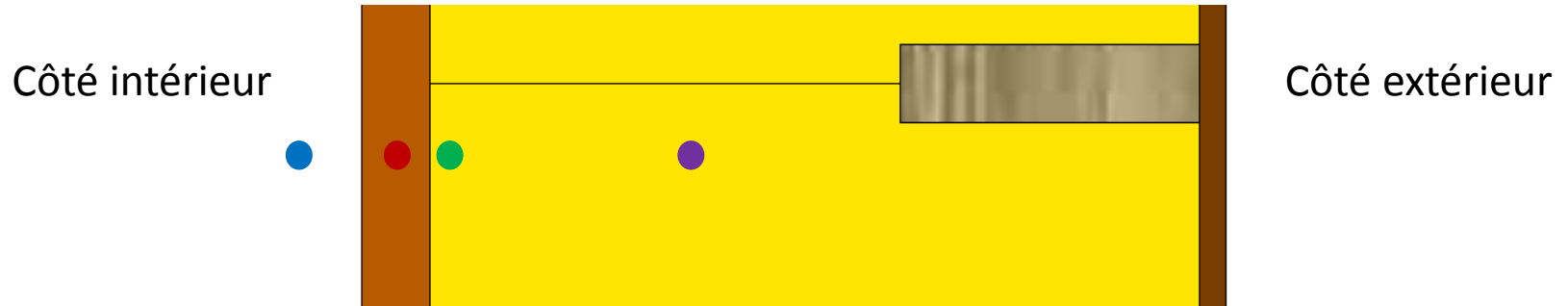
Essai enceinte

Côté intérieur

Côté extérieur



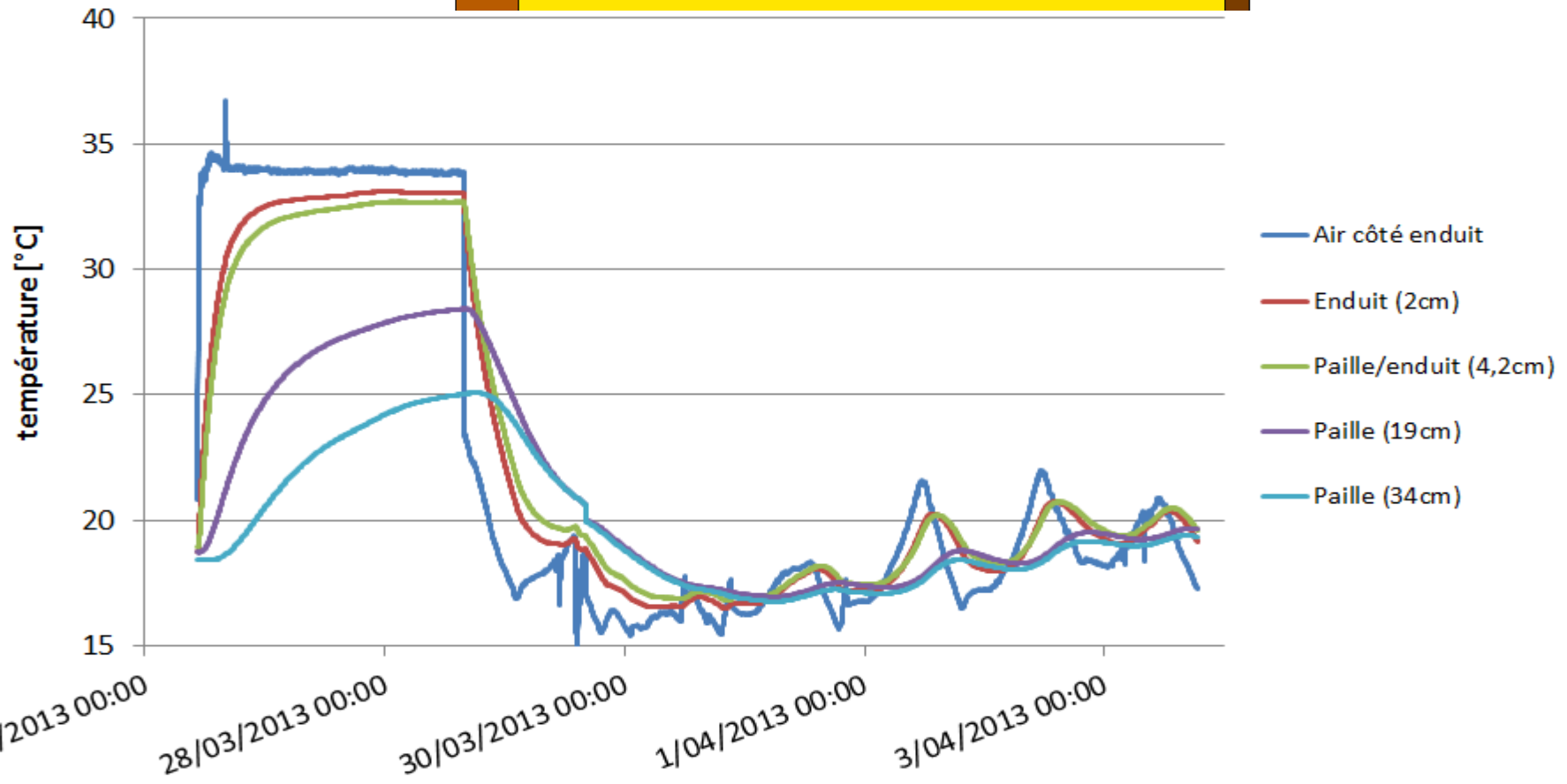
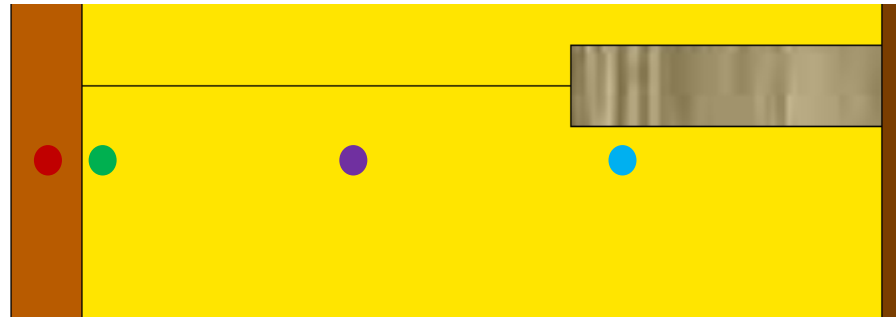
Essai enceinte



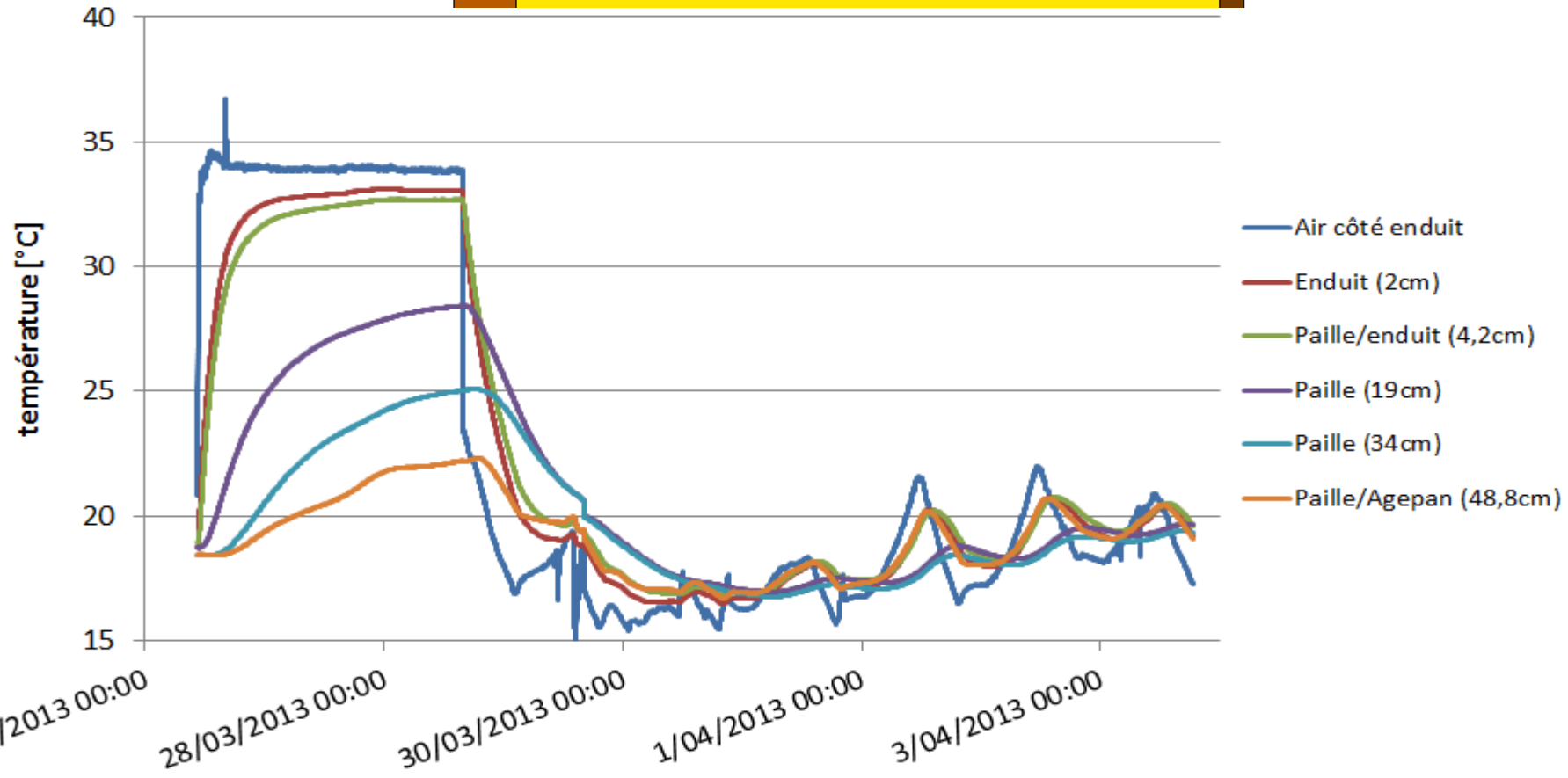
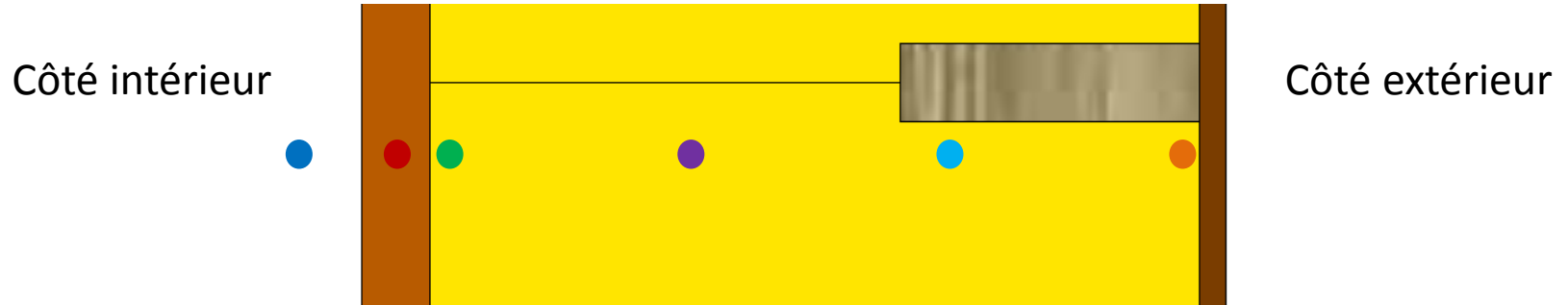
Essai enceinte

Côté intérieur

Côté extérieur



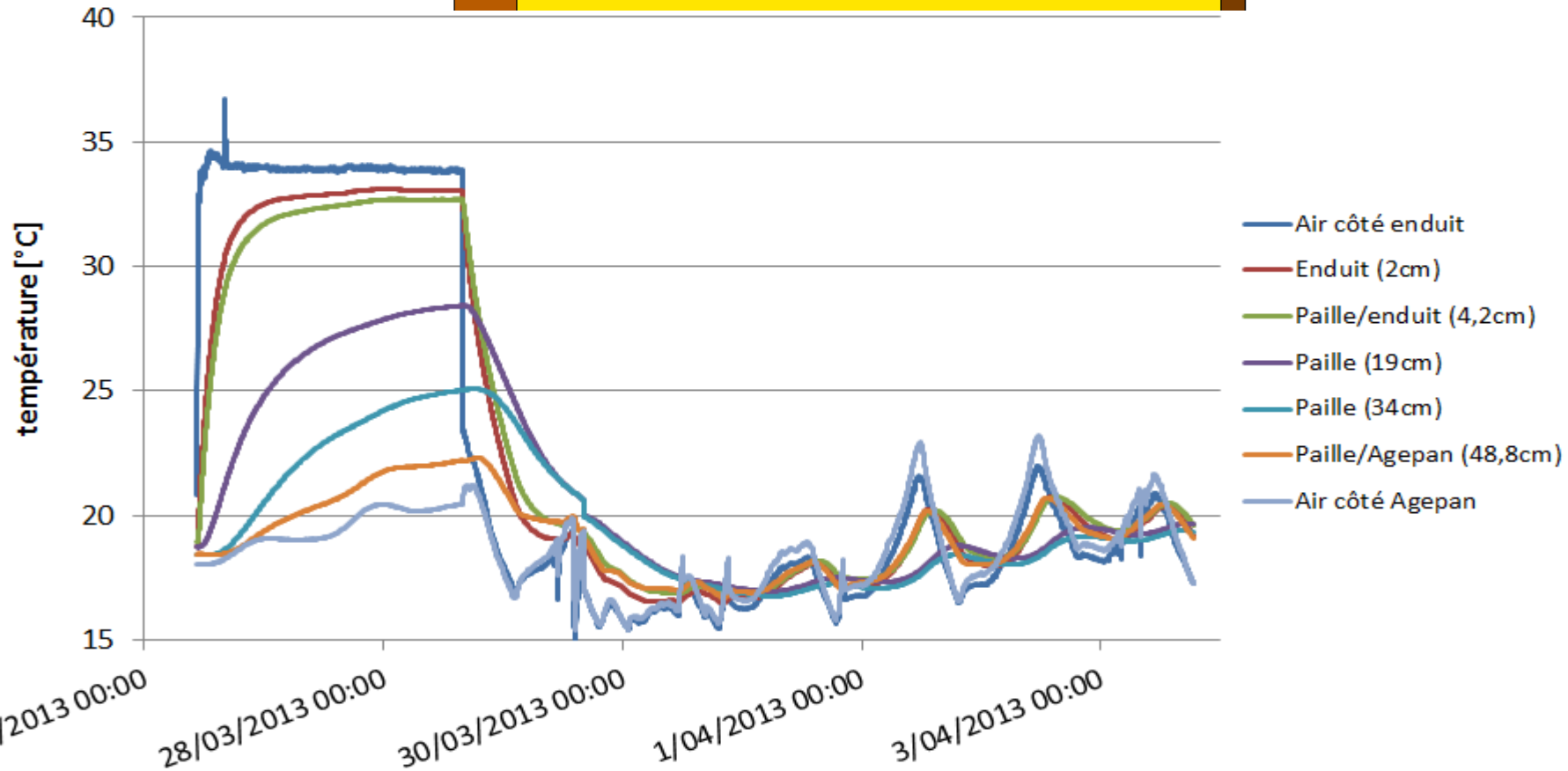
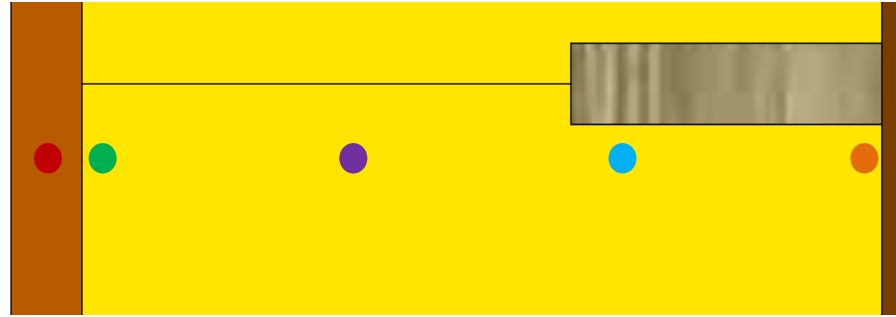
Essai enceinte



Essai enceinte

Côté intérieur

Côté extérieur



Essai enceinte: comparaison avec une simulation Comsol (Dubois S.)

Essai enceinte: comparaison avec une simulation Comsol (Dubois S.)

