

Dossier technique :

Testeur de câbles chauffants électriques



1. Découverte du contexte technique

Le système étudié est un testeur de câbles électriques résistifs pour planchers chauffants, dont la réparation est impossible après la pose de la dalle. Une surveillance continue des câbles est donc nécessaire lors de l'installation :

- un contrôle initial de la résistance du câble neuf avant son installation ;
- des contrôles réguliers de la résistance pendant toute la durée de l'installation ;
- un contrôle final de la résistance, avant puis après la mise en place de la dalle.

Présentation du chauffage au sol électrique à câble bipolaire :

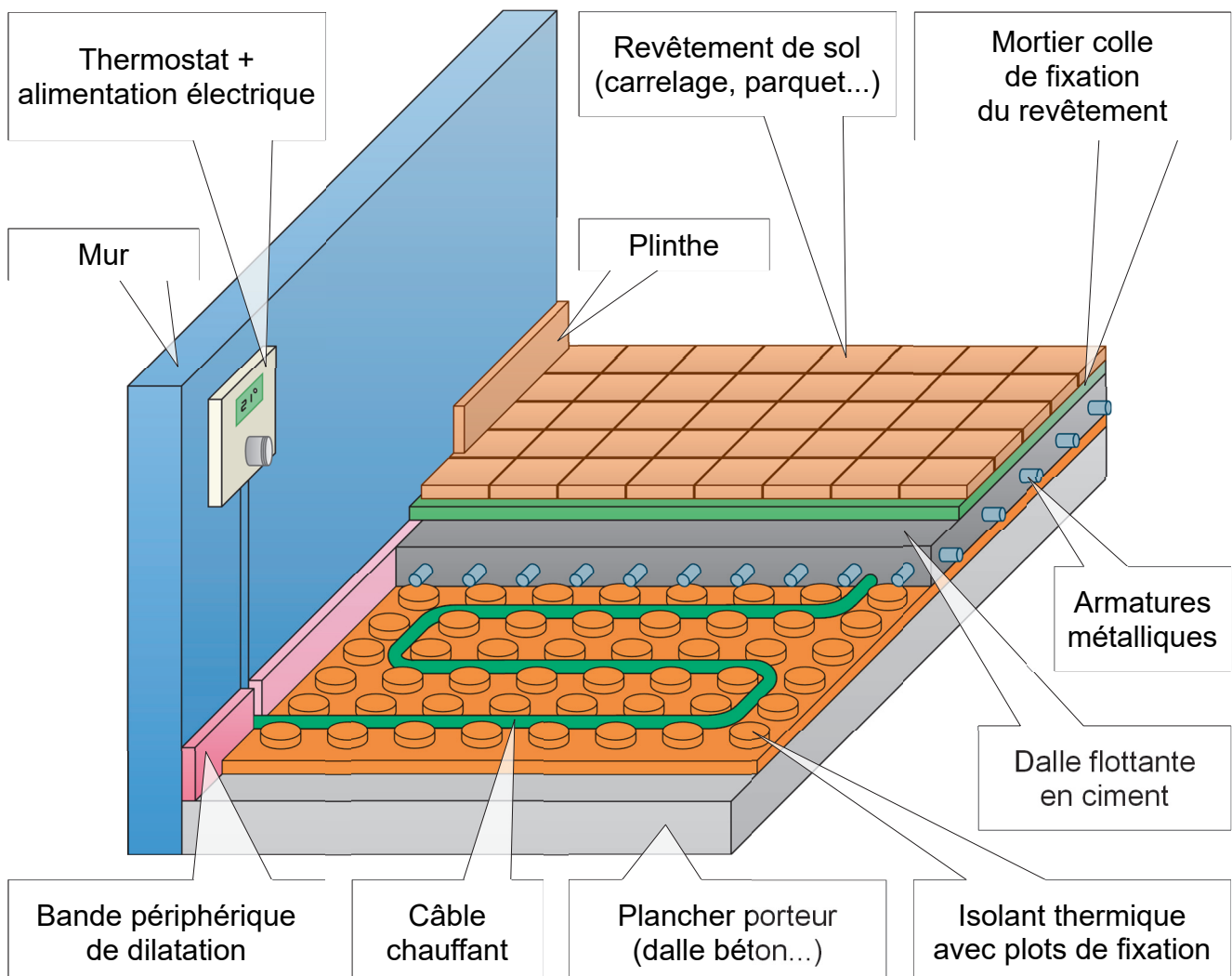


Figure 1 : Composition d'un plancher chauffant électrique à câble bipolaire

Description technique du câble chauffant électrique bipolaire :

Le câble chauffant est composé de deux fils conducteurs résistifs en cuivre protégés chacun par un isolant électrique, d'une tresse métallique de sécurité assurant la mise à la terre et enfin d'une gaine extérieure pour la résistance mécanique en traction compression et flexion.

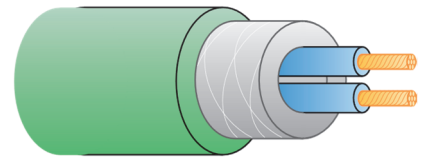


Figure 2 : Câble chauffant électrique bipolaire

2. Problématique technique

Le câble chauffant est soumis à des contraintes mécaniques lors de la pose, ce qui peut affecter ses performances électriques.

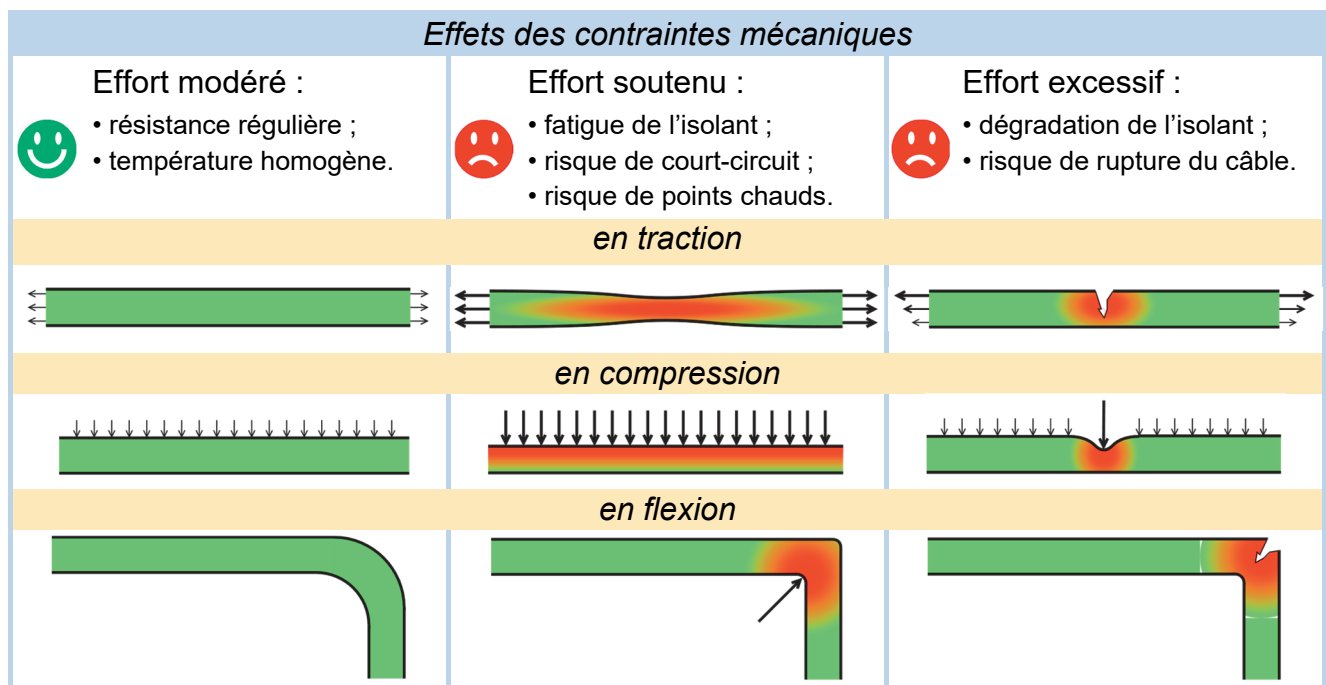
Effets des efforts de traction, compression et flexion :

Figure 3 : Tableau des effets des efforts mécaniques subis par le câble

Évolution de la résistance suite à un effort :

La « valeur mémorisée » est la valeur de résistance du câble mesurée avant la pose.

Situations techniques		Évolution de la valeur de la résistance
✓	Si câble en bon état	$R_{\text{mesurée}} = \text{valeur mémorisée} \pm 10 \%$
✗	Si câble en court-circuit	$R_{\text{mesurée}} < \text{valeur mémorisée} - 10 \%$
✗	Si câble endommagé	par mise à la terre
		par compression
✗	Si câble coupé	$R_{\text{mesurée}} > \text{valeur mémorisée} + 10 \%$

Légende : ✓ état normal – ✗ anomalie

Figure 4 : Tableau d'évolution de la valeur de résistance du câble

3. Nouvelle fonctionnalité proposée

Pour répondre à la problématique technique, le constructeur du testeur souhaite intégrer à son appareil une nouvelle fonctionnalité dédiée au contrôle de la dérive de la résistance du câble pendant toute la phase d'installation.

Cette fonctionnalité devra vérifier que la résistance mesurée reste comprise dans une tolérance de $\pm 10\%$ autour d'une valeur de référence et alerter le technicien en cas de dépassement de cette tolérance.

La valeur de référence correspond à la résistance initiale du câble neuf, préalablement mémorisée dans l'appareil par le technicien.

4. Performances attendues

Description de l'évolution du testeur :

Le testeur de câbles chauffants est un ohmmètre assurant le suivi de la résistance du câble pendant la phase d'installation.

La nouvelle fonctionnalité permet la mémorisation d'une valeur de référence par bouton et la signalisation des anomalies par alerte visuelle colorée.

Description des nouvelles caractéristiques :

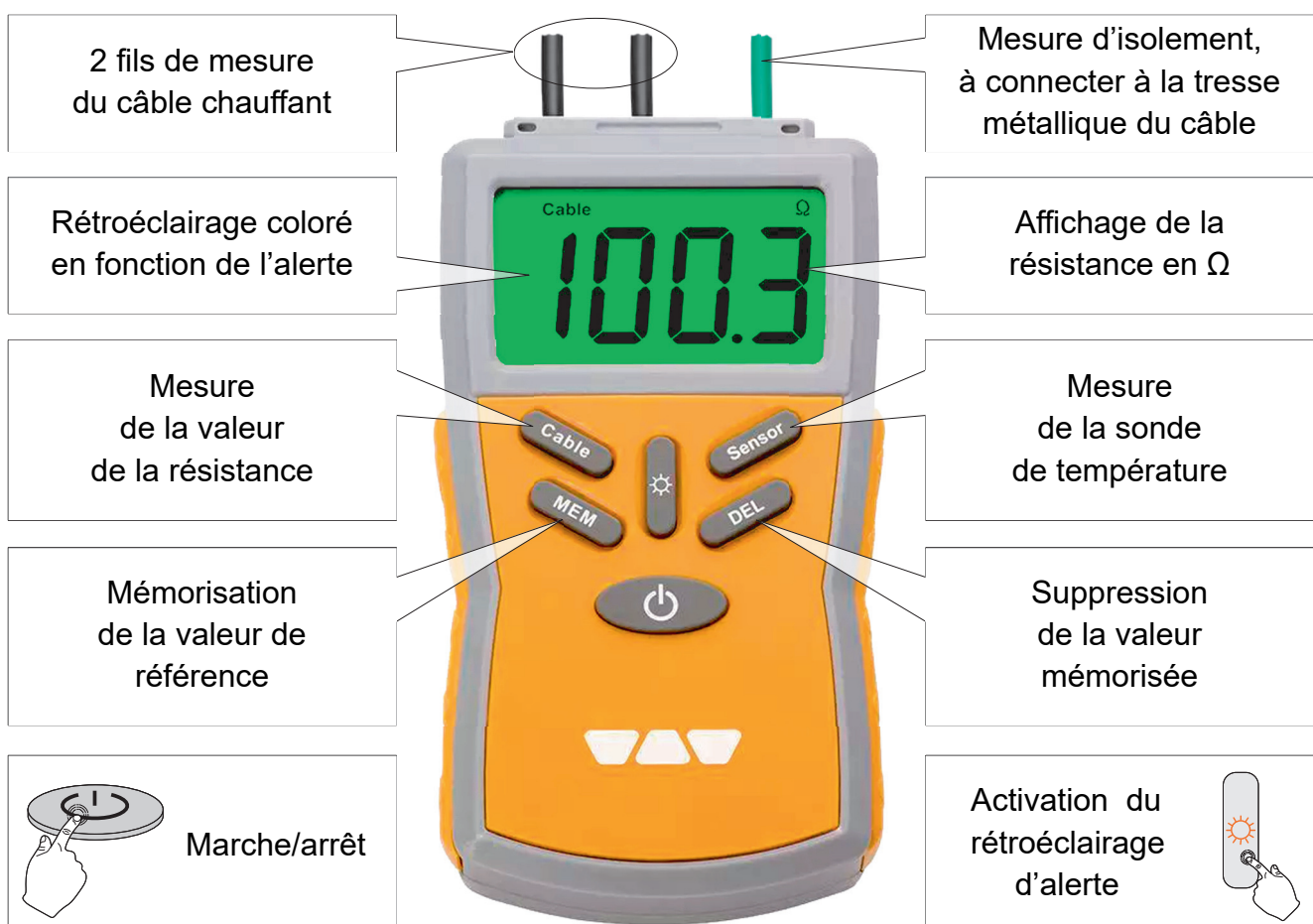


Figure 5 : Description du testeur

Exigences du cahier des charges prévues par le constructeur :

Le diagramme des exigences ci-dessous présente la nouvelle fonctionnalité que le constructeur du testeur de câbles chauffants souhaite ajouter à son appareil.

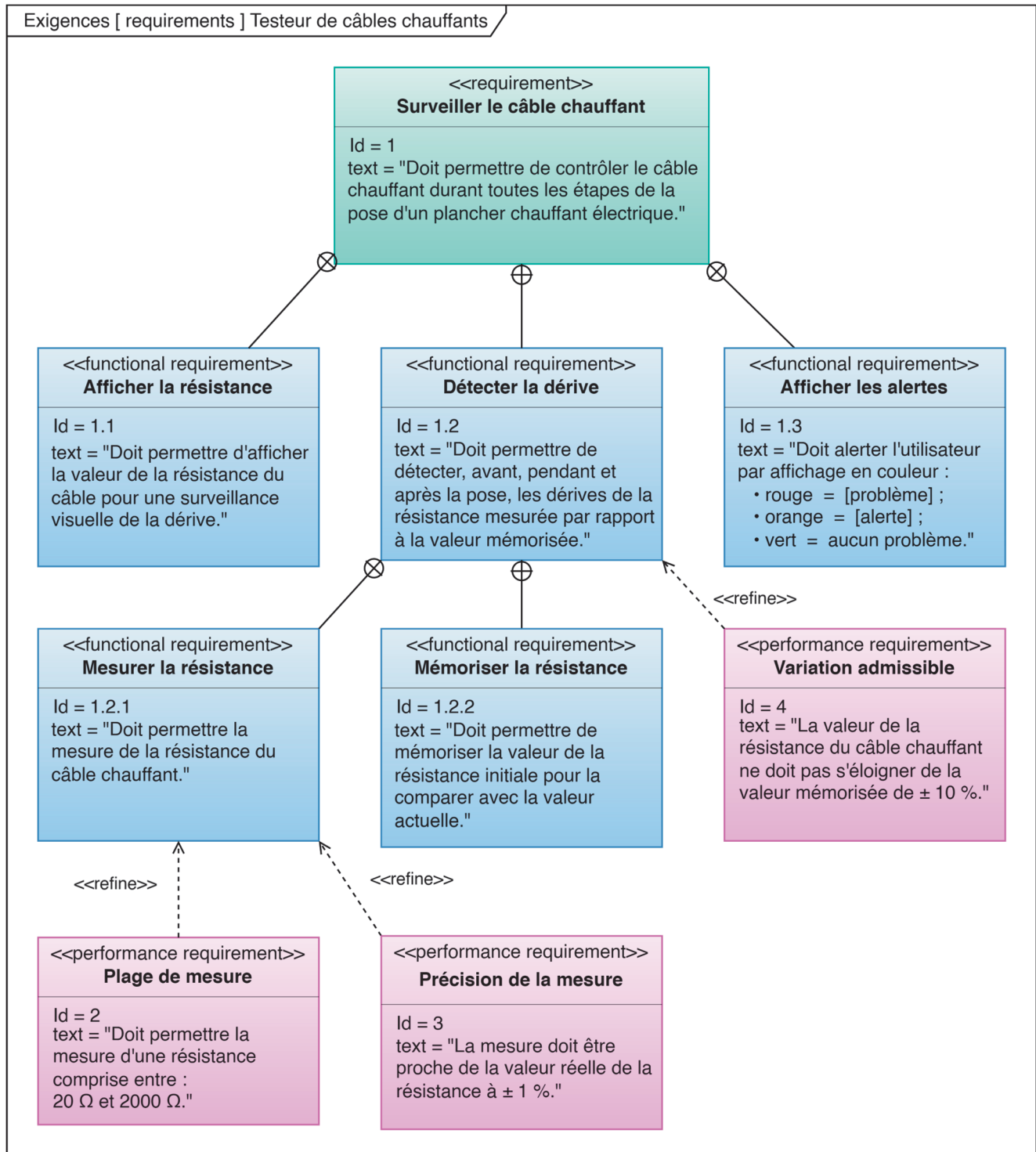


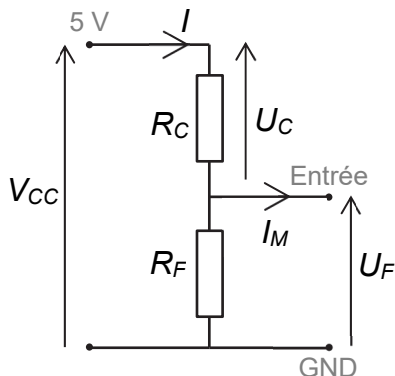
Figure 6 : Diagramme des exigences de la nouvelle fonctionnalité

5. Algorithme de la nouvelle fonctionnalité

Figure 7 : Algorithme de la nouvelle fonctionnalité

6. Principe de mesure de la résistance

La valeur R_C de la résistance du câble est obtenue indirectement en utilisant un pont diviseur de tension, le microcontrôleur du testeur ne pouvant mesurer directement la résistance.



$V_{CC} = 5V$ Tension d'alimentation du pont

R_C Résistance du câble chauffant

R_F Résistance fixe de référence

I Courant d'entrée du pont diviseur de tension

$I_M = 0$ Courant dans la branche de mesure (négligeable)

U_C Tension aux bornes de R_C

U_F Tension mesurée aux bornes de R_F

La valeur R_C est obtenue à partir de la valeurLue sur la broche du microcontrôleur à l'aide du quantum q tel que :

$$R_C = R_F \left(\frac{V_{CC}}{q \times \text{valeurLue}} - 1 \right)$$

7. Caractéristiques des entrées et sorties du microcontrôleur

Le microcontrôleur du testeur dispose des caractéristiques suivantes :

Caractéristiques des entrées/sorties	Tension			Liaison de communication		
	0 ou 5 V	0 à 5 V	0 ou 5 V, à rapport cyclique	UART	I ² C	SPI
Information logique	✓	✗	✗	✗	✗	✗
Information analogique	✗	✓	✗	✗	✗	✗
information numérique	✗	✗	✓	✓	✓	✓
Flux d'entrée	✓	✓	✗	✓	✓	✓
Flux de sortie	✓	✗	✓	✓	✓	✓
CAN	✗	✓	✗	✗	✗	✗
CNA	✗	✗	✗	✗	✗	✗
PWM	✗	✗	✓	✗	✗	✗
Broches du microcontrôleur	D2 à D13	A0 à A5	D3, D5, D6, D9, D10, D11	D0 (RX), D1 (TX)	A4 (SDA), A5 (SCL)	D10 (SS), D11 (MOSI), D12 (MISO), D13 (SCK)

Légende : ✓ pris en charge – ✗ non pris en charge

Figure 8 : Caractéristiques des interfaces du microcontrôleur

8. Procédure d'ouverture de la simulation et de compilation du code

a. Lancer le logiciel de simulation (fichier « simulide.exe » du dossier « Ressources »). La langue se change par le bouton ⚙ de la zone 11 de l'écran principal.

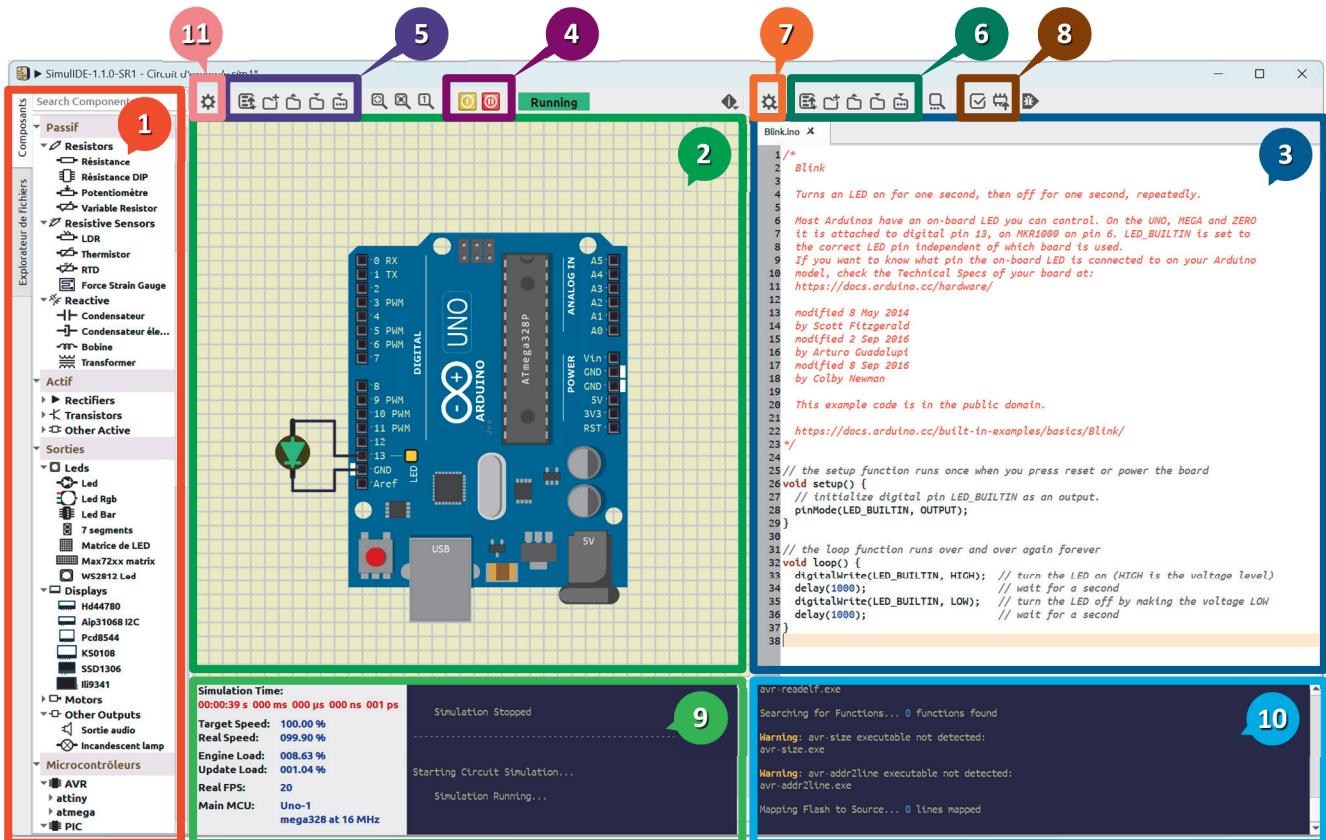
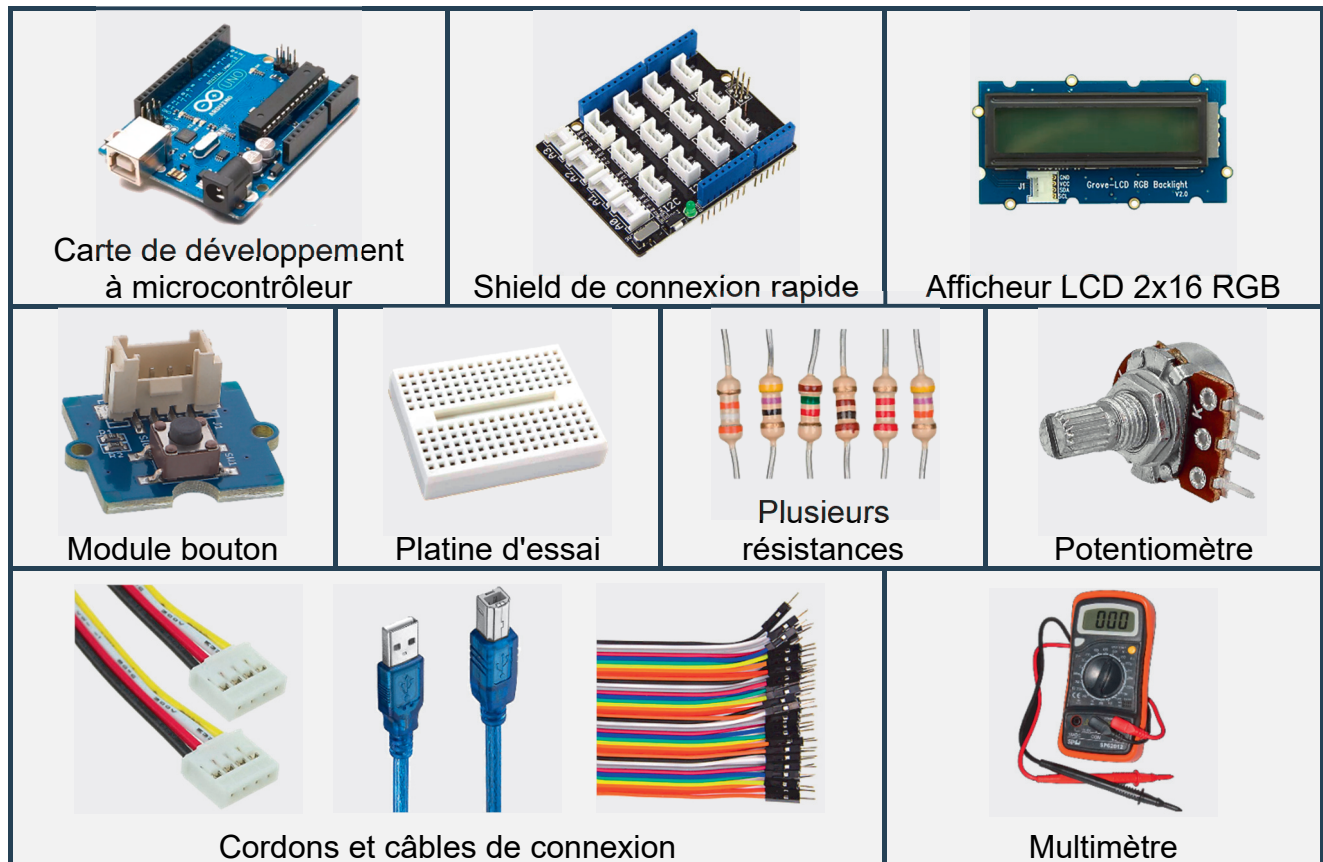
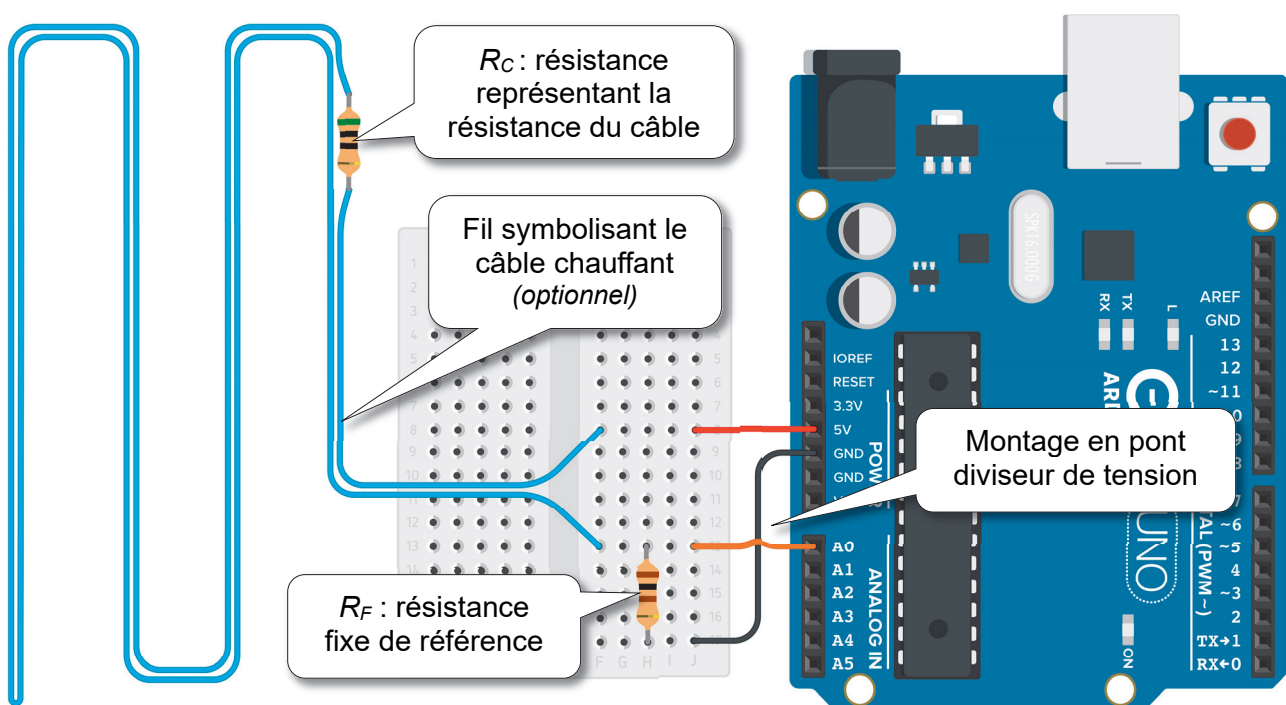


Figure 9 : Écran principal du logiciel de simulation

- b. Dans la zone 5, cliquer sur « Ouvrir circuit » et choisir le fichier du montage que vous souhaitez ouvrir (extension de fichier « .sim1 »).
 - c. Dans la zone 6, cliquer sur « Ouvrir » et sélectionner le croquis (le code) correspondant au fichier du montage que vous venez d'ouvrir (extension « .ino »).
 - d. Sur la carte à microcontrôleur, faire un clic droit puis → « mega328-109 » → « Main Mcu ».
 - e. Dans la zone 7, bouton ⚙ « Settings » → « File Settings ». Dans la fenêtre, sélectionner « Arduino » dans le menu « Compiler », puis fermer.
 - f. Dans la zone 7, bouton ⚙ « Settings » → « Compiler Settings ».
 - g. Dans le champ « Tool Path », taper : « data/arduino/ ».
- Tool Path
- h. Sélectionner « Arduino Uno » dans le menu « Board », puis fermer la fenêtre.
 - i. Dans la zone 8, cliquer sur le bouton « Compiler » (étapes visibles en zone 10).
 - j. Cliquer sur le bouton « Télécharger » (zone 8) pour téléverser le code.
 - k. Dans la zone 4, cliquer sur le bouton « Start Simulation » pour lancer le montage.

9. Expérimentation et validation des performancesMatériel d'expérimentation à disposition :*Figure 10 : Matériel d'expérimentation*Montage expérimental de mesure de la résistance R_C du câble :*Figure 11 : Mesure d'une résistance par pont diviseur de tension*