

Étude 2D de l'échauffement d'un faisceau électrique pour une multitude de dispositions aléatoires de fils

Julien Petitgirard^(1,2) & Philippe Baucour^(1*) & Didier Chamagne⁽¹⁾ & Eric Fouillien⁽²⁾

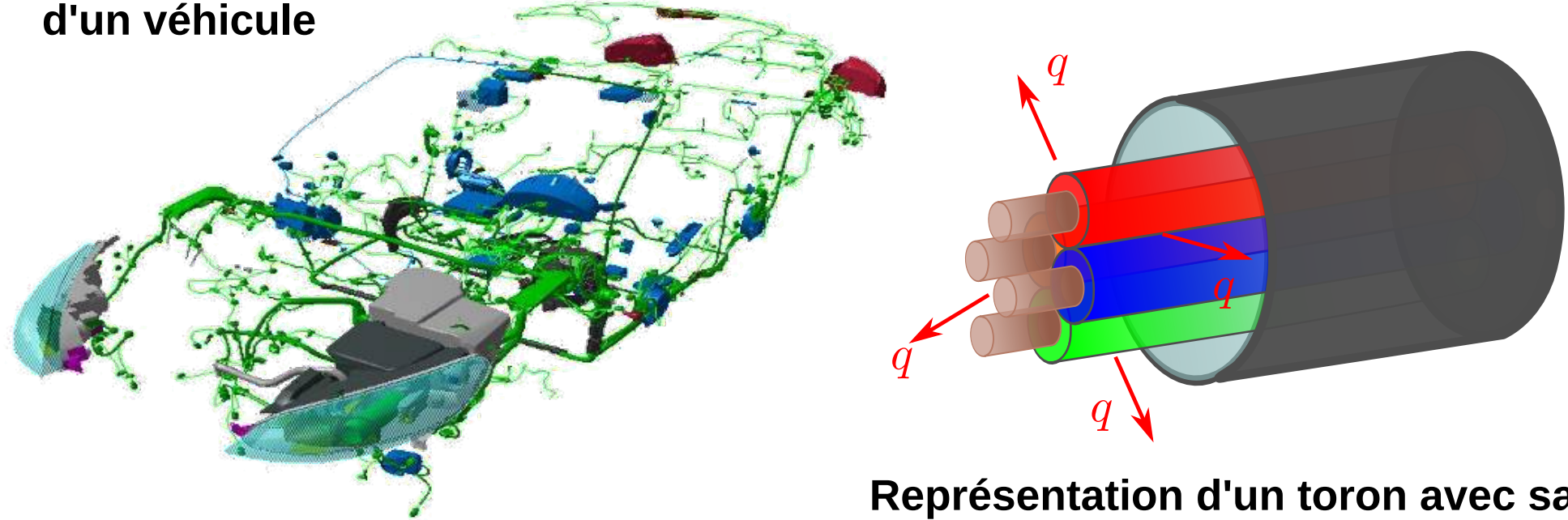


Problématique thermique dans les torons de fils

Contexte

Les faisceaux électriques dans les moyens de transport doivent répondre à de plus en plus d'exigences et de contraintes : **augmentation du nombre de fils** liée à la complexité croissante des systèmes embarqués, à la **diversité importante des configurations** proposée aux clients, à la **variabilité de l'environnement thermique**, à la **réduction de l'espace disponible** pour le cheminement des faisceaux. La réponse à ces contraintes doit prendre en compte l'**optimisation des coûts de production** des faisceaux...

Architecture électrique d'un véhicule



Production de chaleur par effet Joule
 $q(t) = R_{elec} \times i(t)^2$

Représentation d'un toron avec sa gaine

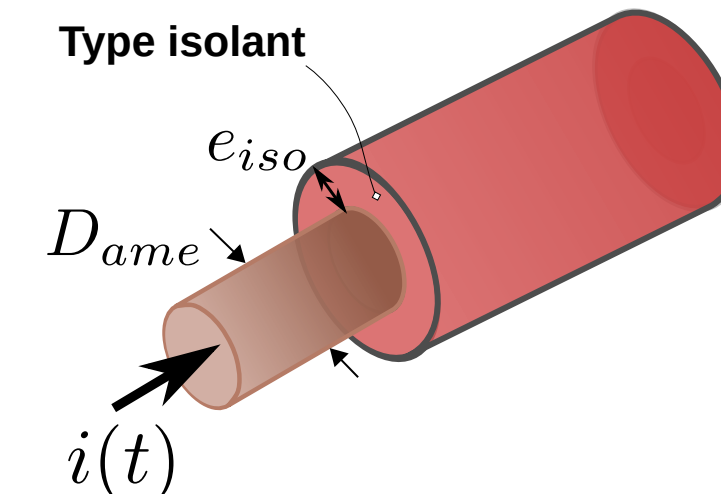
Objectifs

L'objectif est de proposer **une méthodologie rapide et précise d'un calcul thermique** d'un toron de fils. Cette méthodologie doit permettre aux concepteurs de faisceaux de proposer un meilleur dimensionnement :

- pour éviter tout risque électrique,
- pour une optimisation de la masse et de l'espace alloué au faisceau.

Pour ce faire, cette étude propose :

- Un **générateur de dispositions aléatoires de fils**.
- Une **étude thermique nodale** issue de la méthode Infinite Line Source (ILS).



Les éléments utilisés pour le dimensionnement sont : la **section** de l'âme, l' de l'isolant et le **type de l'isolant**.

Le **type de l'isolant** fournit les caractéristiques thermiques mais aussi la **température maximum admissible** par le fil.

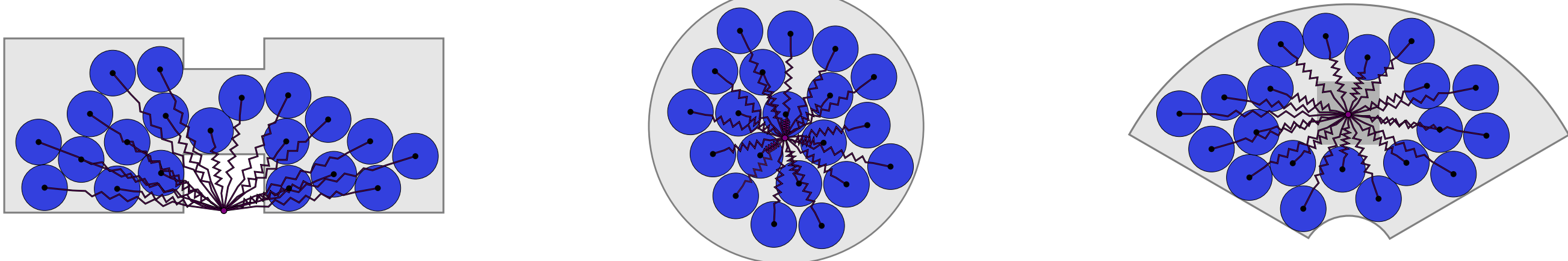
Méthode pour la génération et la résolution thermique

Génération de dispositions aléatoires

Choix de la solution de génération

Le **moteur physique chipmunk** a été utilisé pour générer différentes dispositions. Contrairement aux algorithmes de "circle packing", un moteur physique permet une **génération aléatoire contrôlable**.

Le moteur physique utilise les équations de la **mécanique classique**. Pour agglomérer des cercles, un système de **ressorts** est utilisé. Pour générer la **forme souhaitée**, il suffit de créer un contenant à la forme voulue.



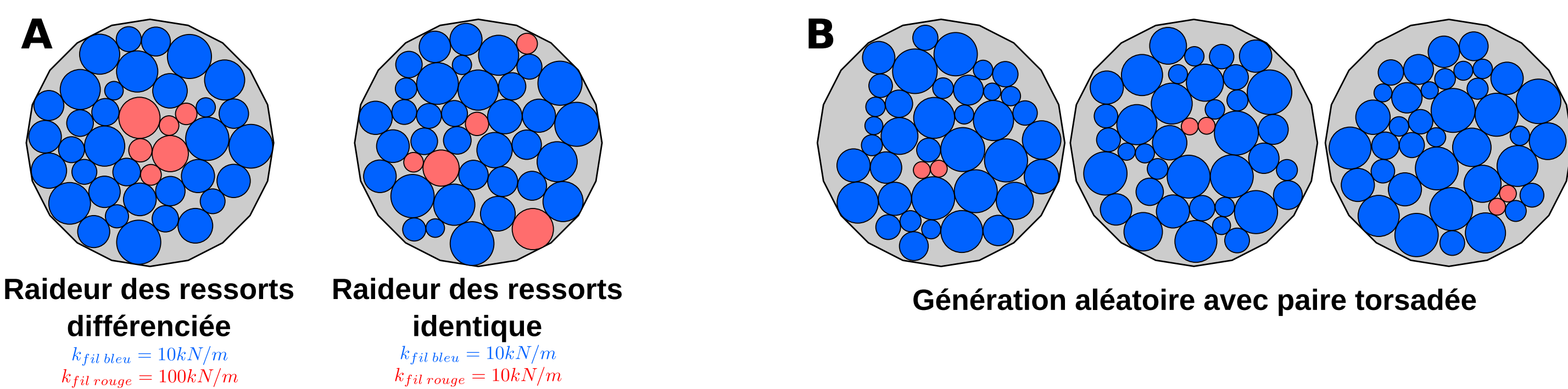
3 Exemples de dispositions avec différents contenants

Possibilité de contrôle de la génération

Ce générateur offre la possibilité de générer **des dispositions aléatoires contrôlables**.

- Le réglage de la **raideur** des ressorts en fonction de la puissance dissipée ou d'un autre paramètre permet de forcer certains fils à venir au centre de la disposition (**A**).

- L'ajout d'un ressort puissant entre deux fils permet de simuler une **paire torsadée** (**B**).



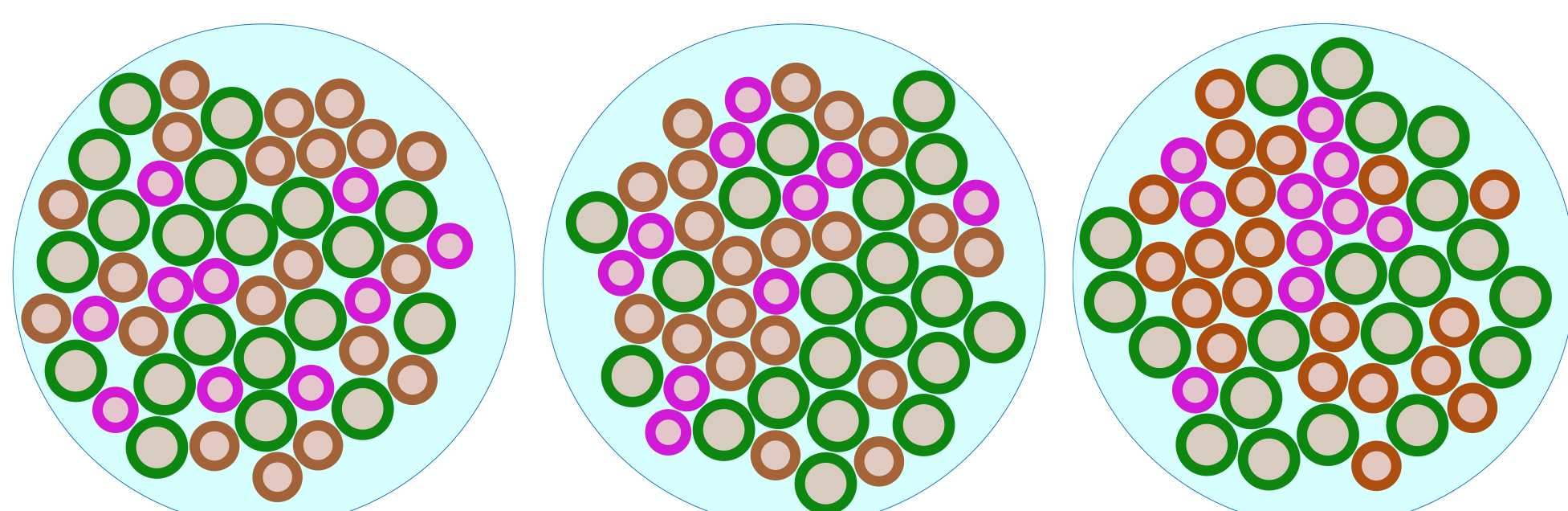
A
Raideur des ressorts différenciée
 $k_{fil\ bleu} = 10kN/m$
 $k_{fil\ rouge} = 100kN/m$

B
Raideur des ressorts identique
 $k_{fil\ bleu} = 10kN/m$
 $k_{fil\ rouge} = 100kN/m$

Génération aléatoire avec paire torsadée

Génération de 50 fils utilisées dans cette étude

Dans la quasi-totalité des cas rencontrés en automobile, les torons sont circulaires. Pour l'étude thermique 100 générations aléatoires de fils de 3 sections différentes ont été réalisées.



3 des 100 dispositions générées pour l'étude thermique

Résolution nodale avec la méthode ILS

Solution d'une source linéique q_n dans un cylindre

L'équation analytique est résolue en tout point (x_i, y_i) . L'effet de l'isolant est ajouté à travers une résistance thermique supplémentaire sur la position du terme source ($i = n$).

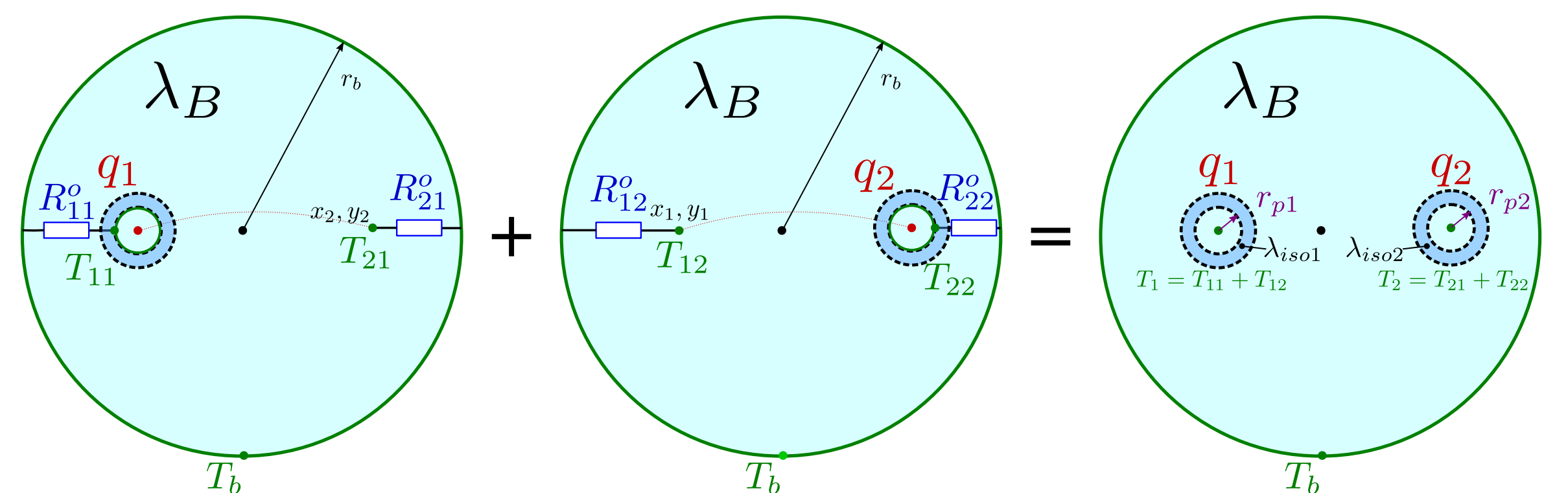
$$T_{in} - T_b = q_n \times \frac{1}{2\pi\lambda_B} \left[\ln \left(\frac{r_b}{\sqrt{(x_i - x_n)^2 + (y_i - y_n)^2}} \right) \right] \text{ pour } i \neq n$$

R_{in}^o

$$T_{nn} - T_b = q_n \times \left[\frac{1}{2\pi\lambda_B} \cdot \ln \left(\frac{r_b}{r_{p,n}} \right) + \frac{1}{2\pi\lambda_{iso,i}} \cdot \ln \left(\frac{r_{iso,n}}{r_{p,n}} \right) \right] \text{ pour } i = n$$

R_{nn}^o

Principe de superposition appliqué à 2 fils



Etablissement des résistances du réseau nodal pour 2 fils

Les résistances thermiques nodales R^Δ sont déterminées à partir des résistances R^o issues de la résolution analytique. Tous les fils du graphe sont interconnectés.

$$\begin{cases} q_1 = \frac{T_1 - T_2}{R_{12}^\Delta} + \frac{T_1 - T_b}{R_{11}^\Delta} \\ q_2 = \frac{T_2 - T_1}{R_{21}^\Delta} + \frac{T_2 - T_b}{R_{22}^\Delta} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} T_1 - T_b = q_1 \times R_{11}^o + q_2 \times R_{12}^o \\ T_2 - T_b = q_1 \times R_{12}^o + q_2 \times R_{22}^o \end{cases}$$

$$\begin{cases} q_1 = \frac{T_1 - T_b}{R_{11}^\Delta} - \frac{T_2 - T_b}{R_{12}^\Delta} + \frac{T_1 - T_b}{R_{11}^\Delta} \\ q_2 = \frac{T_2 - T_b}{R_{22}^\Delta} - \frac{T_1 - T_b}{R_{12}^\Delta} + \frac{T_2 - T_b}{R_{22}^\Delta} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} R_{11}^\Delta = \frac{R_{11}^o \cdot R_{22}^o - (R_{12}^o)^2}{R_{22}^o - R_{12}^o} \\ R_{22}^\Delta = \frac{R_{11}^o \cdot R_{22}^o - (R_{12}^o)^2}{R_{11}^o - R_{12}^o} \\ R_{12}^\Delta = \frac{R_{11}^o \cdot R_{22}^o - (R_{12}^o)^2}{R_{12}^o} \end{cases}$$

Résultats de la résolution numérique

100 dispositions aléatoires ont été générées en 3,32s et ont été résolues par la **méthode nodale** présentée ici. Les résultats permettent aux concepteurs de faisceaux de trouver les **cas les plus défavorables (cas les plus dimensionnants)** et d'adapter la section et le choix des isolants sur les fils les plus critiques (classe de température des isolants dépassée).

Section	Courant	Bilan individuel			Bilan sur 100 tirages			
		Disp 1	Disp 2	Disp 3	Moy.	Min	Max	
20x 1 mm ²	5A	Moy	111,4	109,1	122,2	114,5	105,7	123,3
		Min	92,0	99,1	102,8	98,6	86,3	111,9
		Max	122,1	119,3	135,9	129,3	119,0	138,6
20x 2 mm ²	10A	Moy	112,5	113,6	113,9	113,5	106,3	122,0
		Min	93,3	95,4	98,9	96,4	81,6	107,9
		Max	121,0	132,2	136,8	129,0	118,9	137,9
20x 2 mm ²	2A	Moy	103,5	111,1	106,1	108,9	100,4	115,1
		Min	89,7	97,1	94,9	92,0	81,4	100,1
		Max	122,2	127,7	119,1	126,7	115,5	138,4
10x 0,75 mm ²	1A	Moy	116,5	115,5	114,0	112,0	105,1	119,5
		Min	100,2	94,0	94,9	95,7	83,0	108,2
		Max	122,6	131,1	136,6	127,6	117,8	136,6

Moyenne, minimum et maximum pour chaque type de fil sur les 3 dispositions ci-contre (Disp) et pour l'ensemble des 100 dispositions testées.

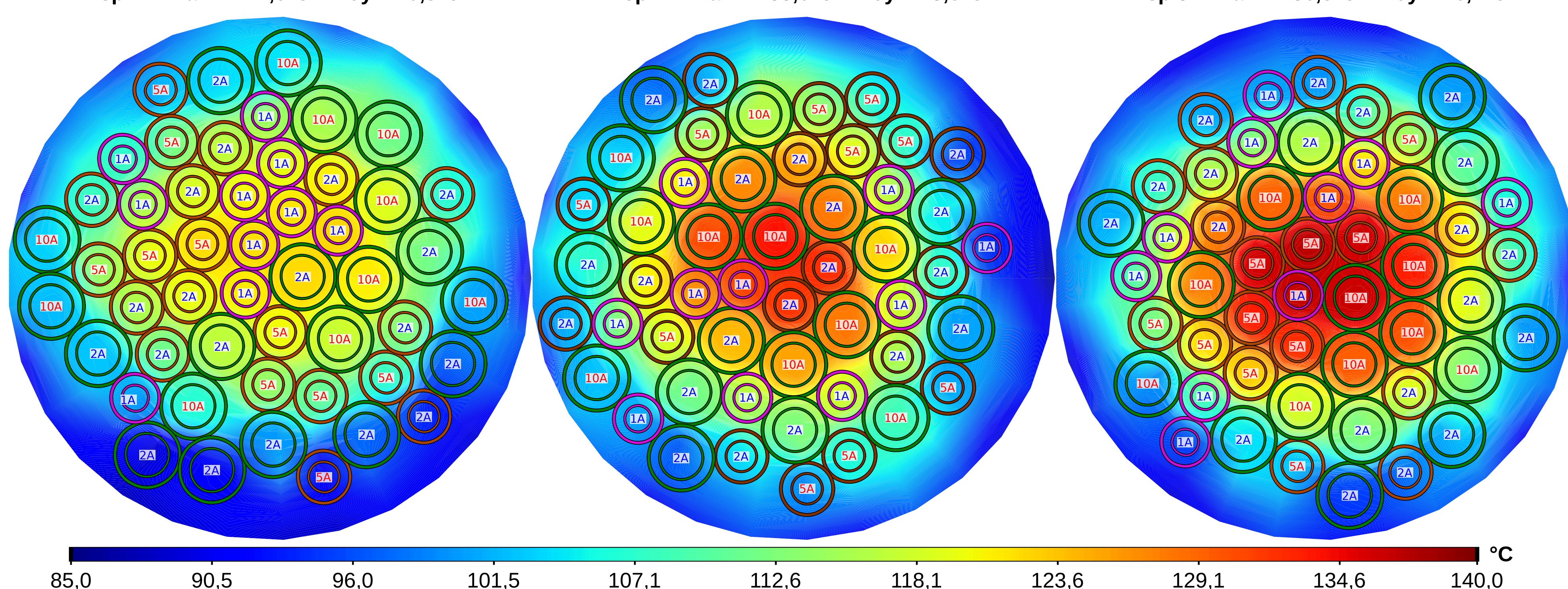
Contour de températures sur 3 dispositions

Ces dispositions mettent en évidence **3 cas du moins critique au plus critique** (gauche à droite). Ces résolutions montrent l'influence de la disposition des fils dans un toron. Pour cette étude, le **cas dimensionnant est la disposition 3**.

Disp 1 Tmax = 122,6°C Tmoy=110,8°C

Disp 2 Tmax = 133,6°C Tmoy=113,6°C

Disp 3 Tmax = 136,8°C Tmoy=116,1°C



85,0 90,5 96,0 101,5 107,1 112,6 118,1 123,6 129,1 134,6 140,0 °C