

# Prise en compte de l'environnement thermique dans Code V

31 mai 2012



*Innovation based  
on Experience*

- **Possibilités offertes par Code V**
- **Bases de données**
  - Coefficient de Dilatation
  - Variation d'indice
- **Changement de température dans une combinaison**
- **Gradients**
  - Axial de température
  - Radial de température
  - D'indice
- **Macros**

- **Code V permet de simuler les effets d'un changement de température**
  - **Soit par des fonctions globales qui**
    - Modifient la forme de la lentille
    - Modifient les indices des verres
  - **Soit par des fonctions séparées**
    - Pour prendre en compte des gradients d'indice
      - Tous les types de gradient d'indice peuvent être simulés
        - Axiaux
        - Radial
        - quelconque
    - Pour introduire les déformées thermo élastiques calculées par d'autres logiciels
- **Code V fournit également quelques macros pour aider l'utilisateur.**

- **Cette commande va agir sur :**
  - **Les indices**
    - Prise en compte des  $dn/Dt$
  - **Les rayons de courbure**
    - Les rayons de courbure subissent une dilatation
    - Les modèles de dilatation sont approximatifs dans le cas de gradients thermiques
  - **Les épaisseurs de verre et d'air**
    - Le calcul de la variation de l'écart d'air est complexe
  - **D'autres paramètres tels que les coefficients des asphériques.**

- **Coefficient de dilatation des verres**

- La plupart des coefficients de dilatation sont extrapolés à partir de deux valeurs données pour deux plages de température.
- Certains catalogues ne sont fournis qu'avec une seule plage de température.
- D'autres catalogues ne fournissent aucune valeur.

Table 3. Temperature ranges for thermal expansion coefficients

Catalog	Temperature Range (°C)	
	-30 to 70	20 to 300
Chance	Yes	No
Corning	No	No
CornFR	Yes	Yes
Hoya	Some	Yes
Kodak	No	No
NSG	No	No
Ohara	Yes	Yes
Schott	Yes	Yes
Special	Yes	No

- **Coefficient de dilatation des verres (suite)**

- Si deux valeurs sont stockées  $\alpha_{\text{high}}$  et  $\alpha_{\text{low}}$

$$\alpha_{\text{used}} = \alpha_{\text{low}} + \frac{(\alpha_{\text{high}} - \alpha_{\text{low}})(T_{\text{final}} + T_{\text{initial}} - 40)}{280}$$

- **Coefficients de dilatation des mécaniques**

- Code V possède une base de donnée pour les matériaux les plus courants.



**Table 1. Expansion constants for pre-stored mount/substrate materials**

CODE V Designation	Material/Alloy/Designation	Alpha (x10 <sup>-7</sup> /°C)	Temperature (°C)
ABS	ABS (medium impact type)	864.0	
ABSG	ABS (glass-filled)	290.0	20
AL356	Al 356 (cast)	214.0	20 to 100
AL713	Al 713 (Tenzalloy)	241.0	20 to 100
AL771	Al 771 (Precedent 71A)	247.0	20 to 100
AL1100	Al 1100 (wrought)	236.0	20 to 100
AL2024	Al 2024	232.0	20 to 100
AL6061	Al 6061	234.0	20 to 100
AL7075	Al 7075	236.0	20 to 100
ALUMINA	Alumina (Corundum)	59.0	20 to 100
BECU172	Be-Cu 17200	178.0	20 to 300
BEI70A	Be I-70A	116.0	5 to 65
BEI220	Be I-220	116.0	5 to 65
BEI400	Be I-400	112.0	5 to 50
BEO	BeO	67.0	20 to 100
BES200F	Be S-200F (impact ground)	112.0	5 to 65
BRASSC	Brass, Cartridge 20000 (70%)	200.0	20 to 300
BRASSF	Brass, Free Cutting 36000	205.0	20 to 300
CERVIT	Cer-Vit (O/I TM) C-101	3.0	0
CORDIERITE	Cordierite (CG4, Ge)	-0.7	0 to 100
CR39	CR-39 (Allyl Diglycol Carbonate)	1140.0	20
CU101	Cu C10100	169.0	20
CU102	Cu 10200	176.0	20 to 300
DUCTILE	DUCTILE (cast iron, nodule)	119.0	0 to 100
EPOXY	Epoxy/Cement (Epo-TeK 301)	500.0	48
FS7940	Fused Silica CGW 7940	5.2	5 to 35
FSAMERSIL	Fused Silica Amersil Types	5.1	0 to 100
GRANITE	Granite	83.0	20
GREPOXY	Graphite Epoxy GY70/X30	2.0	20
INVAR35	Invar 35	5.6	27
INVAR36	Invar 36	15.0	27
KOVAR	Kovar	55.0	30 to 200
LEXAN	Polycarbonate (141 grade, clear injection molded)	675.0	

MEGE30	Meehanite GE 30	105.0	93
MGAZ31BF	Mg AZ31B-F or H24 (Temper)	252.0	20
MGM1A	Mg M1A	252.0	20
MMGRAL	Metal Matrix Gr/Al (40%)	4.0	20
MOLYLCG	Moly (Low Carbon Grade)	50.0	21
MOLYTZM	Moly TZM (w/Ti & Zr)	52.0	21
NYLON	Nylon (transparent)	776.0	
PLEXI	Plexiglass G (Methyl Methacrylate)	675.0	20
SIC	Silicon Carbide (SiC)	35.0	20
SINVAR	Super Invar	3.1	20
SS303	SS 303/303Se (Austenitic)	173.0	0 to 100
SS304	SS 304 (Austenitic)	173.0	0 to 100
SS316	SS 316 (Austenitic)	160.0	0 to 100
SS416	SS 416/416Se (Martensitic)	99.0	0 to 100
SS430	SS 430 (Ferritic)	104.0	0 to 100
SS440	SS 440A/B/C (Martensitic)	101.0	0 to 100
STEEL1015	Steel 1015 (low carbon)	119.0	20
STYRENE	Polystyrene (glass fiber [30%] reinforced)	600.0	
SXA20	SiC/Al Metal Matrix Bars	148.0	
SXA30	SiC/Al Metal Matrix Composite	124.0	-51 to 93
SXA40	SiC/Al Metal Matrix Composite	108.0	-51 to 93
T400	Table/Bench - 400 Series	100.0	21
TBB	Table/Bench - Bread Board (6061T6)	230.0	21
TI	Titanium (Ti)	108.0	20 to 538
TI6AL4V	Ti - 6Al - 4V	95.0	20 to 538
TSINVAR	Table/Bench - Super Invar	-1.8	21
TSTEEL	Table/Bench - Steel	110.0	20
ULE	ULE CGW 7971	0.3	0 to 35
ZERODUR	Zerodur	0.5	20 to 300

**Note:** Some materials (e.g. INVAR) have values that are highly dependent on detailed chemistry, processing, heat treatment, etc. For precise work, obtain data from manufacturer for the material to be used.

- **Si la valeur proposée par CodeV ne convient pas ou si elle est absente il est possible de rentrer ses propres valeurs.**
  - **Syntaxe: **exp****
    - La valeur à entrer sera multipliée par  $10^{-7}$
    - **exp Nom\_du\_materiau ou valeur de coefficient**: utilisé pour la monture et les entretoises.
      - Exemple : exp invar ou exp 9
    - **exp si.j Nom du matériau ou valeur du coefficient** : identique à la précédente mais limite l'utilisation à une plage de dioptries
    - **exp Nom\_du\_verre ou si.j ou si + nom du verre valeur de coefficient**: utilisé pour les verres.
      - Exemple : exp BK7 8
  - **Pour les miroirs : **exm****



- **Les  $dn/dt$  sont donnés pour la plupart des verres mais pas pour les autres matériaux (cristaux).**
- **Les valeurs sont données pour des plages de températures et de longueurs d'onde variant pour chaque matériau.**
- **Un coefficient multiplicatif de  $10^{-6}$  est appliqué sur les valeurs.**

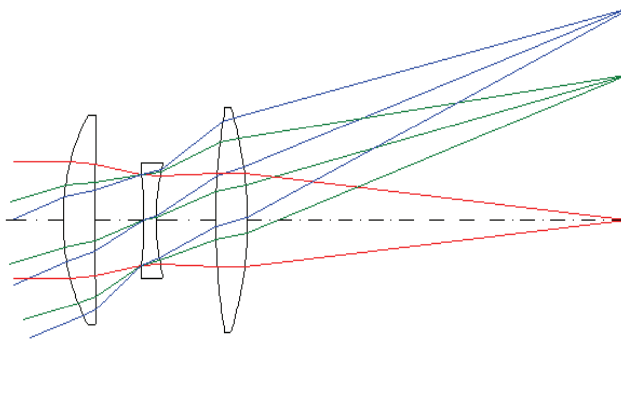
Materiaux	Plage de température	Plage de longueurs d'onde
AMTIR1	+25 +65°C	1150-10600 nm
BAF2	+20°C	457.9- 10600 nm
CAF2	+14 +24°C	458-3390 nm
CDTE	+20 +80°C	10 - 15 µm
GERM		
GERMLW		
GERMMW		
IG2	+20 +30°C	3400 -10600 nm
IG3	+20 +30°C	3401 -10600 nm
IG4	+20 +30°C	3402 -10600 nm
IG5	+20 +30°C	3403 -10600 nm
IG6	+20 +30°C	3404 -10600 nm
IRTRAN1		
IRTRAN2		
IRTRAN6		

## Variation des indices

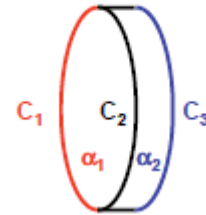
Matériaux	Plage de température	Plage de longueurs d'onde
KBR	+20°C	457.9 - 10600 nm
KCL	+20°C	457.9 - 10600 nm
KRS5	+19 - +31°C	577 - 39380 nm
MGF2	+20°C	457.9 - 3390 nm
MGO	+20°C	404.7 - 767.9 nm
SAPHIR		
SCGERM	+25°C	2174 - 14000 nm
SILICE	+20 +30°C	404 - 2000 nm
SILICIUM	+18 +39°C	1407 - 5156 nm
Verres CDGM		
Verres CORNING France	0 +100°C	436 - 644 nm
Verres HOYA	+20 +40°C	632.8 nm
Verres OHARA	+20 +40°C	436 - 644 nm
Verres PILKINGTON	+20 +40°C	436 - 644 nm
Verres SCHOTT	+20 +40°C	436 - 1060 nm
Verres SUMITA		
ZNS	+20°C	1150 - 10600 nm
ZNSE	+20°C	632 - 10600 nm

- **Lors d'un changement de température**

- Les lentilles se dilatent suivant leur coefficient de dilatation.
- Les écarts d'air varient selon:
  - Le coefficient de dilatation de la mécanique (aluminium par défaut)
  - La hauteur des rayons entre deux lentilles
    - Code V calcule la distance entre L1 L2 en tenant compte des flèches des lentilles
    - Les hauteurs des rayons et la distance calculée précédemment sont dilatées en prenant en compte le coefficient de dilatation de la monture
    - Un nouvel écart d'air est calculée en tenant compte des flèches



- Le rayon de courbure de la face collée est modifié en premier
- Puis les autres faces sont modifiées en prenant en compte la face collée



$$c_2' = [c_2/(1+\alpha_1\Delta T) + c_2/(1+\alpha_2\Delta T)]/2$$

$$c_1' = c_1/(1+\alpha_1\Delta T) + [c_2' - c_2/(1+\alpha_1\Delta T)]$$

$$c_3' = c_3/(1+\alpha_2\Delta T) + [c_2' - c_2/(1+\alpha_2\Delta T)]$$

- **Code V possède une fonction permettant de simuler un gradient axial dans une lentille.**
  - Cette fonction est indépendante de la fonction ENV. Elle ne prend donc pas en compte des déformées thermo mécaniques des dioptries.
  - Elle s'introduit comme un nouveau verre placé dans un catalogue privé:

### What You Need to Know About Axial Gradients

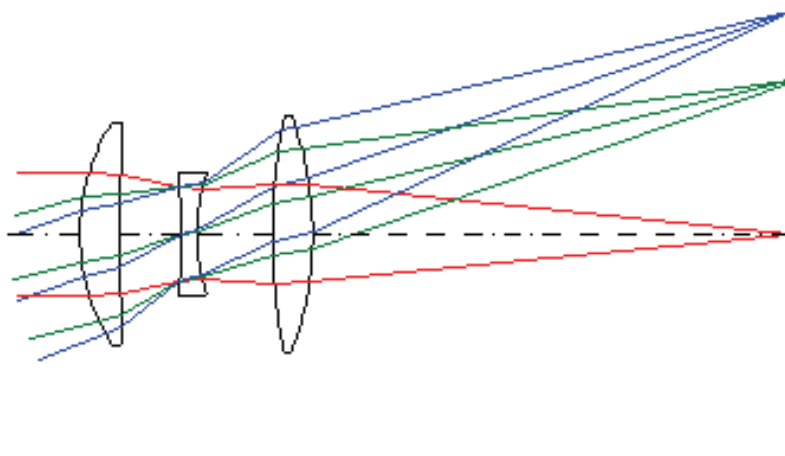
$$n(z) = n_0 + n_1z + n_2z^2 + n_3z^3 + n_4z^4 + n_5z^5 + n_6z^6 + n_7z^7 + n_8z^8 + n_9z^9 + n_{10}z^{10} + n_{11}z^{11}$$

where  $n$  is the index  
 $n_0$  is the base index  
 $n_1, \dots, n_{11}$  are the coefficients

Private Catalog entries:

PWL	wavelength(s) at which base indices are defined
'glass_label'	$n_0$ (base index for each PWL wavelength)
AXG	specifies AXG gradient
AXG C1	coefficient 1
AXG C2	coefficient 2
:	:
:	etc.
AXG C11	

- **Pour créer un gradient axial le long d'un objectif il est possible:**
  - D'utiliser la fonction ENV
  - Et de définir chaque coefficient de dilatation et chaque  $dn/dt$  en prenant en compte la distance par rapport à une référence.
- **Exemple: Triplet de Cooke**



	RDY	THI	RMD	GLA
> OBJ:	INFINITY	INFINITY		
1:	16.87831	3.250000		NSK16_SCHOTT
2:	247.02634	4.984142		
STO:	-35.95718	1.250000		NF2_SCHOTT
4:	15.88615	6.099225		
5:	49.08083	3.250000		NSK16_SCHOTT
6:	-27.62109	38.898042		
IMG:	INFINITY	-0.183758		



	Distance/L1	$\alpha$	dn/dt	Température	Coefficient K
lentille 1	0	63	0,9	20,00	0,00
Air 1 (Aluminium)	5,72	236		21,83	0,37
Lentille 2	8,23	78	2	22,64	0,53
Air 2 (Aluminium)	12,59	236		24,04	0,81
Lentille 3	15,6	63	0,9	25,00	1,00

```

ENV
TEM 25
exp 0.0001

! Lentille 1
exp s1 0.0001
dn s1 0.0001

!Ecart d'air 1
exp s2 87.32

! Lentille 2
exp s3 41.34
dn s3 1.06

!Ecart d'air 2
exp s4 191

!Ecart d'air 3
exp s5 63
dn s5 0.9

GO

```



## Gradient axial

```

546.0
INDEX  DN/DT
[*1E6]

1 1.623312  0.00
2 1.000273

3 1.624533  1.06
4 1.000273

5 1.623312  0.90
6 1.000273

System data for temperature  20.00 degrees centigrade and pressure  760.00    mm Hg

          CURVATURE              THICKNESS              SEMI-DIAMETER
          VALUE      EXP. CONSTANT  VALUE      EXP. CONSTANT  VALUE      EXP. CONSTANT
          [ * 1.0E7 ]          [ * 1.0E7 ]          [ * 1.0E7 ]

OBJ
1  0.05924762      0.000      3.250000      0.000      8.106148      0.000
2  0.00404815      0.000      4.984142      87.320      7.548579      87.320

3  -0.02781086     41.340     1.250000     41.340     3.846201     87.320
4  0.06294791     41.340     6.099225     191.000    4.280849     191.000

5  0.02037455     63.000     3.250000     63.000     8.355304     191.000
6  -0.03620422     63.000     38.897961     0.000     8.661824     0.000

System data for temperature  25.00 degrees centigrade and pressure  760.00    mm Hg

```



## Gradient axial

	INDEX OF REFRACTION FOR WAVELENGTH CURVATURE	THICKNESS	SEMI-DIAMETER	546.0
OBJ		INFINITY		1.00027
1	0.05924762	3.250000	8.106148	1.62331
2	0.00404815	4.984370	7.548908	1.00027
3	-0.02781028	1.250026	3.846369	1.62454
4	0.06294661	6.099807	4.281258	1.00027
5	0.02037391	3.250102	8.356102	1.62332
6	-0.03620308	38.897961	8.661824	1.00027
7	0.00000000	-0.183758	17.943025	

- **1<sup>er</sup> méthode : utilisation des commandes**

- **GRR** : Hauteur par rapport à l'axe pour laquelle une température sera donnée
- **GRT** : Températures correspondantes à chaque hauteur.

- **Exemple:**

- **TEM** 20
- **GRR** S2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 M
- **GRT** S2 15 15.5 16.25 17.25 18 18.5
- Dans ce cas:
  - La monture est à 20°C
  - De l'axe à 0.4 mm de l'axe la température est à 15°C
  - Au bord de la zone utile la température est à 18.5°C
  
- **TEM** 20
- **GRR** S2 0.4 0.6 0.8 1 1.2
- **GRT** S2 15 15.5 16.25 17.25 18
- Dans ce cas:
  - Au bord de la zone utile la température est à 20°C

- 1<sup>ère</sup> méthode (suite)

- L'utilisation des commandes GRR et GRT entraine:

- La modification du type des deux dioptries de la lentille
  - Le dioptre avant devient de type THG (Thermal Gradient)

Parameter	Value
Y Radius	Infinity
2nd Order Alpha	0.0000
4th Order Alpha	0.0000
Absolute dn/dT 587.5618 nm	0.0000
Conic Constant (K)	0.0000
4th Order Coefficient (A)	0.0000
6th Order Coefficient (B)	0.0000
8th Order Coefficient (C)	0.0000
10th Order Coefficient (D)	0.0000
End Of Data	

$$N = N_0 + (TA_1 r^2 + TA_2 r^4) TB_{wl}$$

where

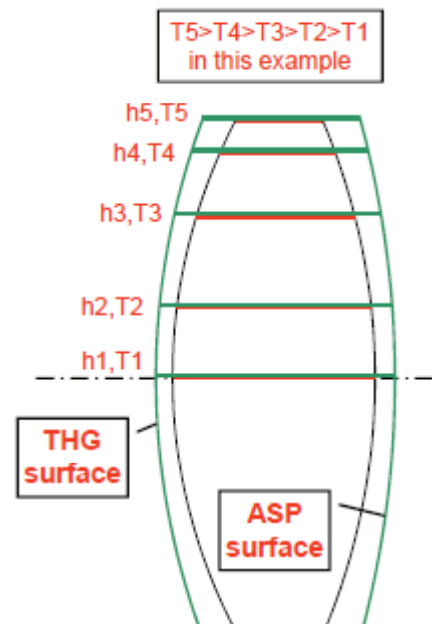
$N$  is the index of refraction at radius  $r$

$N_0$  is the index of refraction at the axial temperature

$TA_1, TA_2$  are the 2nd and 4th order coefficients of the increase in temperature as a function of lens radius ( $r$ ) in the medium following the surface

$TB_{wl}$  are values of  $dn/dT$  for each of the system wavelengths; values are given for the temperature at the center of the element.

- Le dioptre arriere devient aspherique (ASP)
  - Pour chaque GRR fourni l'epaisseur est modifie en fonction de la temperature fournie dans GRT
  - Une aspherique d'ordre 10 est alors utilisee pour représenter la surface obtenue.



## ● Problème rencontré

- Si le dioptre avant n'est pas initialement de symétrie de révolution le passage en THG entrainera une perte de donnée. Ceci peut arriver pour des surfaces cylindriques par exemple.

- **L'indice ne dépend que de la hauteur du rayon incident sur le premier dioptré.**
- **La propagation d'un rayon dans la lentille se fait donc en ligne droite. Il ne s'agit donc pas d'un vrai gradient d'indice.**
  - Une macro est disponible pour convertir la surface en gradient d'indice: THG\_to\_GRIN
  - L'approximation de la méthode sera d'autant plus juste qu'au moins l'une des hypothèses suivantes est vérifiée:
    - Lentille mince
    - Rayons parallèles à l'axe
    - Faible gradient d'indice.
- **Les commandes GRR et GRT peuvent être utilisées pour changer facilement la température globale d'une lentille.**



- **Code V permet de prendre en compte les gradients d'indice**
- **Certaines formes de gradients sont prédéfinis:**
  - SELFOC (gradient utilisé dans les lentilles SELFOC)
  - Axial
  - Université de Rochester
  - Luneberg
  - Sphérique
  - Maxwell
- **De plus Code V permet de définir tout autre gradient.**
  - Fonction UDG
- **Les gradients sont rentrés comme des verres dans un catalogue privé.**

- **Syntaxe à utiliser**

PRV	-	Starts Private Catalog
PWL wavelength_nm....21	-	Wavelengths for next indices
'glass_label'(8) base_index....21	-	Base indices for each GRIN glass_label
SEL AXG URN LUN SPG MAX UDG[ gradient_step_size [ k ] ]	-	Select gradient type, step size (default = 0.1), and global reference surface
SEL AXG URN LUN SPG MAX UDG Cj coefficient_value[....21]	-	Enter each formula coefficient (may vary with wl)



## Gradient d'indice

- **SELFOC**

### What You Need to Know About the SELFOC (Trademark of Nippon Sheet Glass) Gradient

$$n(r) = n_0 [1 - \{\text{Sqrt}(A) * r\}^2 / 2]$$

where  $n$  is the index  
 $n_0$  is the base index  
 $\text{Sqrt}(A)$  is the quadratic constant, in units of  $\text{mm}^{-1}$ ,  
regardless of lens units;  
see NSG data sheets

$$r^2 = x^2 + y^2$$

Private Catalog entries:

PWL wavelength(s) at which base indices are defined  
'glass\_label' no (base index for each PWL wavelength)  
SEL specifies SEL gradient  
SEL C1  $\text{Sqrt}(A)$

- Gradient de l'université de Rochester

**What You Need to Know About the University of Rochester Gradient**

$$n(r,z) = n_{00} + n_{01}z + n_{02}z^2 + n_{03}z^3 + n_{04}z^4 + n_{10}r^2 + n_{20}r^4 + n_{30}r^6 + n_{40}r^8$$

where  $n$  is the index  
 $n_{00}$  is the base index  
 $n_{0i}, n_{j0}$  are the coefficients

$$r^2 = x^2 + y^2$$

Private Catalog entries:

PWL	wavelength(s) at which base indices are defined
'glass_label'	$n_{00}$ (base index for each PWL wavelength)
URN	specifies URN gradient
URN C1, URN C2, URN C3, URN C4	$n_{01}, n_{02}, n_{03}, n_{04}$ , respectively
URN C10, URN C20, URN C30, URN C40	$n_{10}, n_{20}, n_{30}, n_{40}$ , respectively

- Luneberg

## What You Need to Know About the Luneberg Lens Gradient

$$n^2(p) = n_0^2 \left( 2 - \frac{p^2}{a} \right)$$

where  $n$  is the index  
 $n_0$  is the base index  
 $a$  is the coefficient

$$p^2 = x^2 + y^2 + (z - r)^2$$

where  $r$  is the distance to the center of symmetry

Private Catalog entries:

PWL	w1 w2...	! wavelength(s) at which base indices are defined
'glass_label'	$n_{0,1} n_{0,2}...$	! $n_0$ (base index for each PWL wavelength)
LUN		! specifies LUN gradient
LUN C1	a1 a2...	! a
LUN C2	r1 r2...	! r

- Sphérique

### What You Need to Know About Spherical Gradients

$$n(p) = n_0 + n_1 p + n_2 p^2 + n_3 p^3 + n_4 p^4$$

where  $n$  is the index  
 $n_0$  is the base index  
 $n_1, n_2, n_3,$  are the coefficients  
 $n_4$

$$p^2 = x^2 + y^2 + (z - r)^2$$

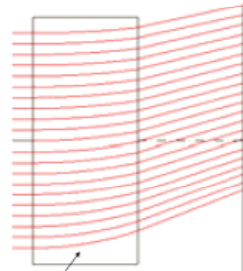
where  $r$  is the distance from the surface vertex to the gradient's center of symmetry

Private Catalog entries:

PWL	wavelength(s) at which base indices are defined
'glass_label'	$n_0$ (base index for each PWL wavelength)
SPG	specifies SPG gradient
SPG C1, SPG C2, SPG C3, SPG C4	$n_1, n_2, n_3, n_4$ , respectively
SPG C5	$c$ (where $c = 1/r$ )

A user gradient index material can be used to define any change in index (e.g., linear).

OPTICAL RESEARCH ASSOCIATES

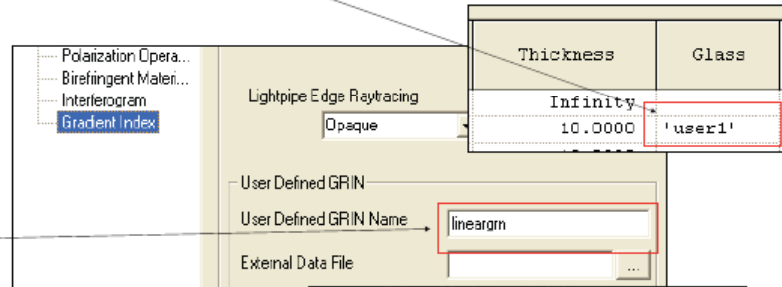


```

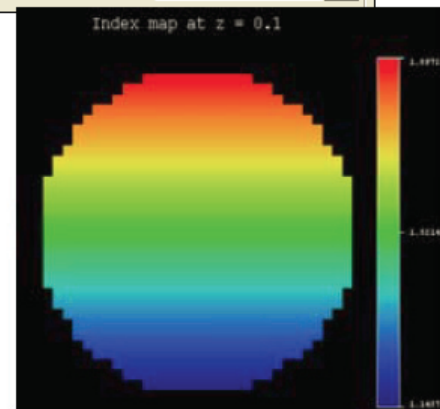
prv
pw1      700.00
'user1'  1.513064
udg
udg c1 ^c1
end
    
```

Material is entered as a private catalog. C1 is the scale factor.

$$n(y) = n_0 + c1 \cdot y$$



- Index changes as a function of y
- A short macro is used to generate an index map for verification





```
FCT @Lineargrn(num ^brind, num ^udg_data(150), num ^s(3), num ^f(5))
```

```

num ^kerror
num ^rindx
num ^xngran(3)

^kerror == ^f(1)

if (^udg_data(1) = 0.0)
  ^kerror == 1
  ^xngran(1) == 0
  ^xngran(2) == 0
  ^xngran(3) == 0
  ^rindx == 0
else
  ^rindx == ^brind + ^udg_data(1) * (^s(2) + 10)

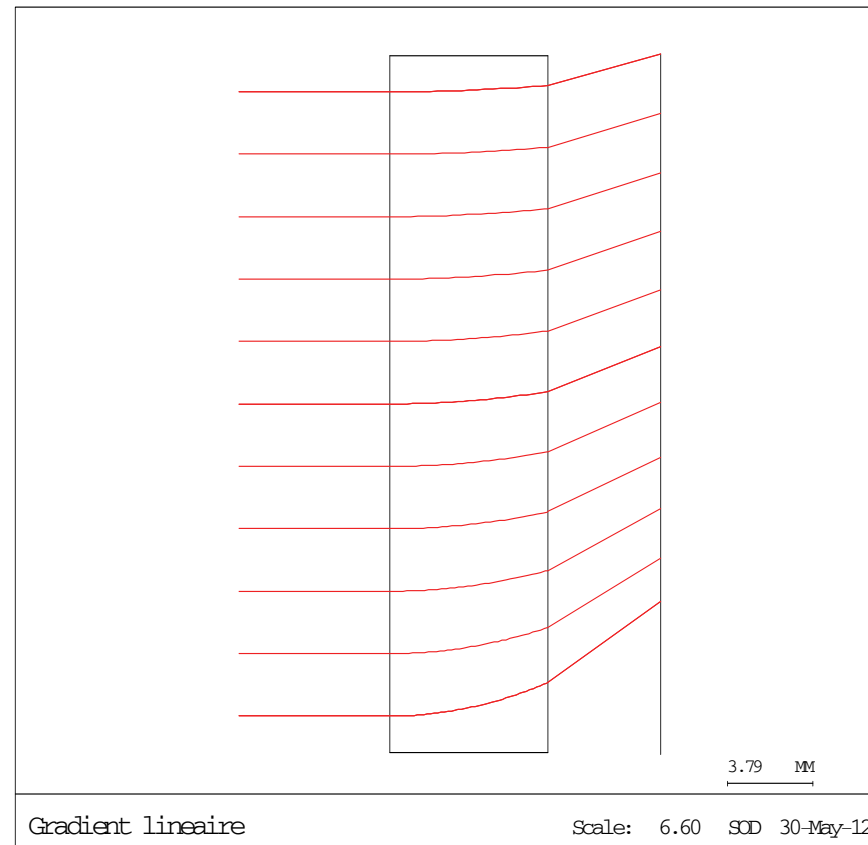
  ^xngran(1) == 0
  ^xngran(2) == ^udg_data(1)
  ^xngran(3) == 0

end if

! Index of refraction
^f(1) == ^kerror
^f(2) == ^rindx
^f(3) == ^xngran(1)
^f(4) == ^xngran(2)
^f(5) == ^xngran(3)

end fct ^kerror

```



- **Dndtcalc**
  - Crée un fichier ENV ou liste les valeurs des dn/dt
- **Thermpik**
  - Permet de zoomer le système
- **Therm\_env**
  - Appelée par Thermpik
  - Calcule les coefficients de dilatation
  - Appelle Therm\_N pour déterminer les indices