



Savoir choisir sa courbe de poids fœtal ou néonatal

# Estimation du poids fœtal ou néonatal Peut-on utiliser la même courbe ? Le point de vue du statisticien

Aline Guttman  
Olivier Rivière

Anne Debost-Legrand  
Lemlih Ouchchane  
Françoise Vendittelli

Amélie Delabaere  
Didier Lemery

Lemlih OUCHCHANE (MD – PhD)  
Institut Pascal – CNRS 6602  
Axe Image Guided Therapy  
Groupe DeciSiPH : Aide à la Décision en Santé Périnatale





Savoir choisir sa courbe de poids fœtal ou néonatal

## Estimation du poids fœtal ou néonatal Peut-on utiliser la même courbe ?

Le point de vue ~~du statisticien~~ d'un naïf

~~La réponse~~

~~Aline Guttmann~~ ~~Anne Debost Legrand~~ ~~Amélie Delabaere~~  
~~Olivier Rivière~~ **Lemlih Ouchchane** ~~Didier Lemery~~  
~~Françoise Vendittelli~~

Lemlih OUCHCHANE (MD – PhD)  
Institut Pascal – CNRS 6602  
Axe Image Guided Therapy  
Groupe DeciSiPH : Aide à la Décision en Santé Périnatale





Savoir choisir sa courbe de poids fœtal ou néonatal

Estimation du poids fœtal ou néonatal  
**Peut-on utiliser la même courbe ?**  
Le point de vue **d'un naïf**

Lemlih Ouchchane

Lemlih OUCHCHANE (MD – PhD)  
Institut Pascal – CNRS 6602  
Axe Image Guided Therapy  
Groupe DeciSiPH : Aide à la Décision en Santé Périnatale





# Promenade dans le vocabulaire (1)

## Age gestationnel vs Terme

Age Gestationnel : jalon chronologique de la période intra-utérine

Terme : moment précis de l'accouchement (âge gestationnel → âge)

## Poids de naissance vs « poids » foetal « estimé »

Poids de naissance : mesure physique réelle d'une masse (kg – g)

Poids foetal... : concept...

... résumant des éléments de corpulence foetale (unités ?)

... estimé : estimation établie en peripartum

... et extrapolée en anténatale

## Référence vs Standard et la notion de Représentativité

Référence : ... on s'y réfère, peut être spécifique

Standard : notion d'universalité – référence unique

Toujours « représentatif » d'une source



## Promenade dans le vocabulaire (2)

### Percentile – Z-score – quantile

Strictement la même information :  
à condition d'avoir une distribution normale

### Marginal vs ajusté

Marginal : brut, standard, mélangé, combiné, poolé, ...

Ajusté : Customisé, personnalisé, de précision, adapté, ...

### Transversal vs longitudinal

La magie de l'interpolation

Courbes de poids de naissance vs courbes de croissance

Transversal : courbe = densité de probabilité

« Courbes » de poids de naissance = courbes de densité

Longitudinal : suivi d'une « trajectoire »

« Courbes » de croissance : trajectoire d'une métrique (échogr.)



## Promenade dans le vocabulaire (3)

### **Courbes de croissance**

**Courbes longitudinales de croissance...**

**... avec suivi d'une trajectoire**

**... ici, suivi longitudinal de métriques échographiques**

### **Courbes de poids de naissance**

**Stricto sensu, courbes de lissage d'une distribution...**

**... présentable sous la forme d'un histogramme**

**... reflet d'une densité de probabilité transversales**

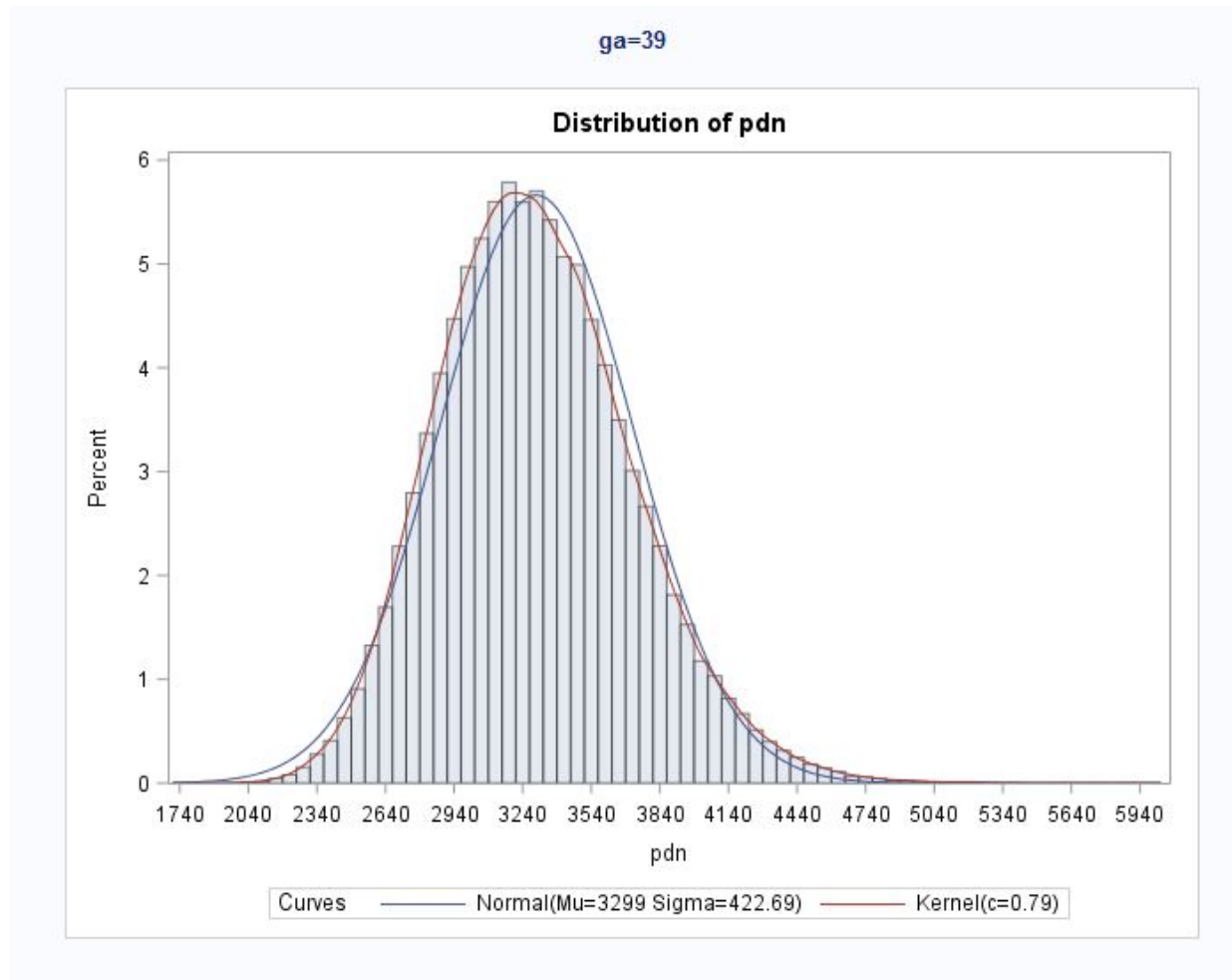
**Pas de suivi longitudinal (on ne naît qu'une fois...)**

**... jonction possible, « quantile à quantile »**

**... dans le but d'interpoler**



## Courbes de poids de naissance





# Les courbes de naissance (e.g. AUDIPOG)

## Objectif

Fournir des z-scores (écart standardisé)

... relatifs au poids (taille, PC)

... à la naissance

... pour tous les termes de 24 à 41 SA

Stratification disponible

... par genre, rang de naissance

... attributs de la mère (poids, taille)

## Principe

$$\text{Z-score} = [\text{Pobs} - \text{Patt}] / \text{sd}(P)$$

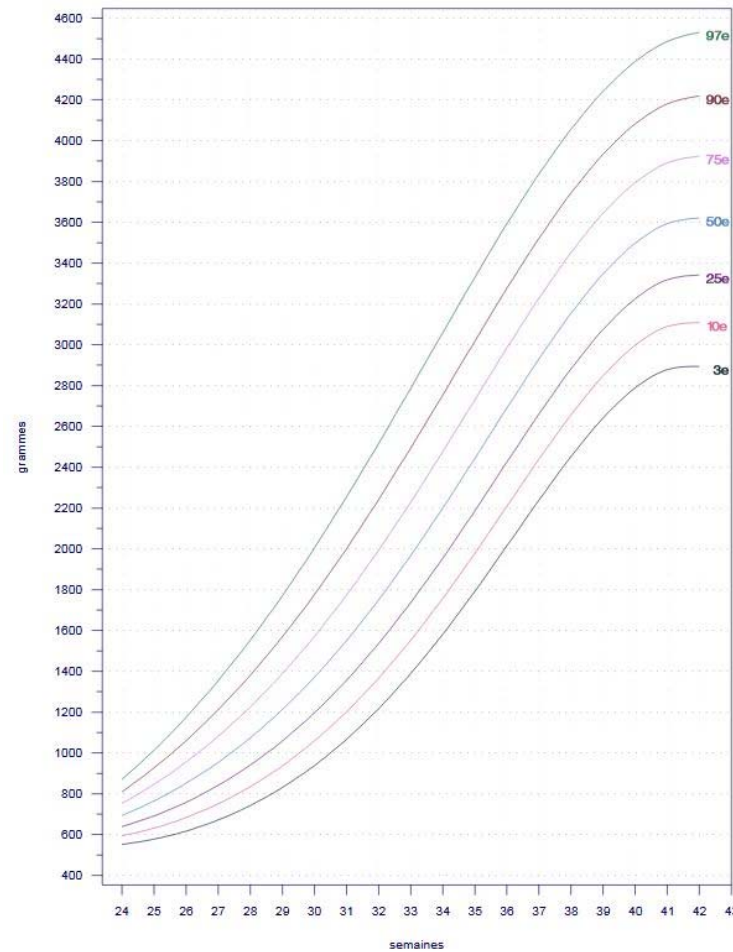
...ici hypothèse de log-normalité  $v(\text{Patt}) = f(\text{AG})$        $v(\text{sd}(P)) = g(\text{AG})$

$$\text{Z-score} = [\text{Ln}(\text{Pobs}) - v(\text{Patt})] / v(\text{sd}(P))$$





# Les courbes de naissance (e.g. AUDIPOG)



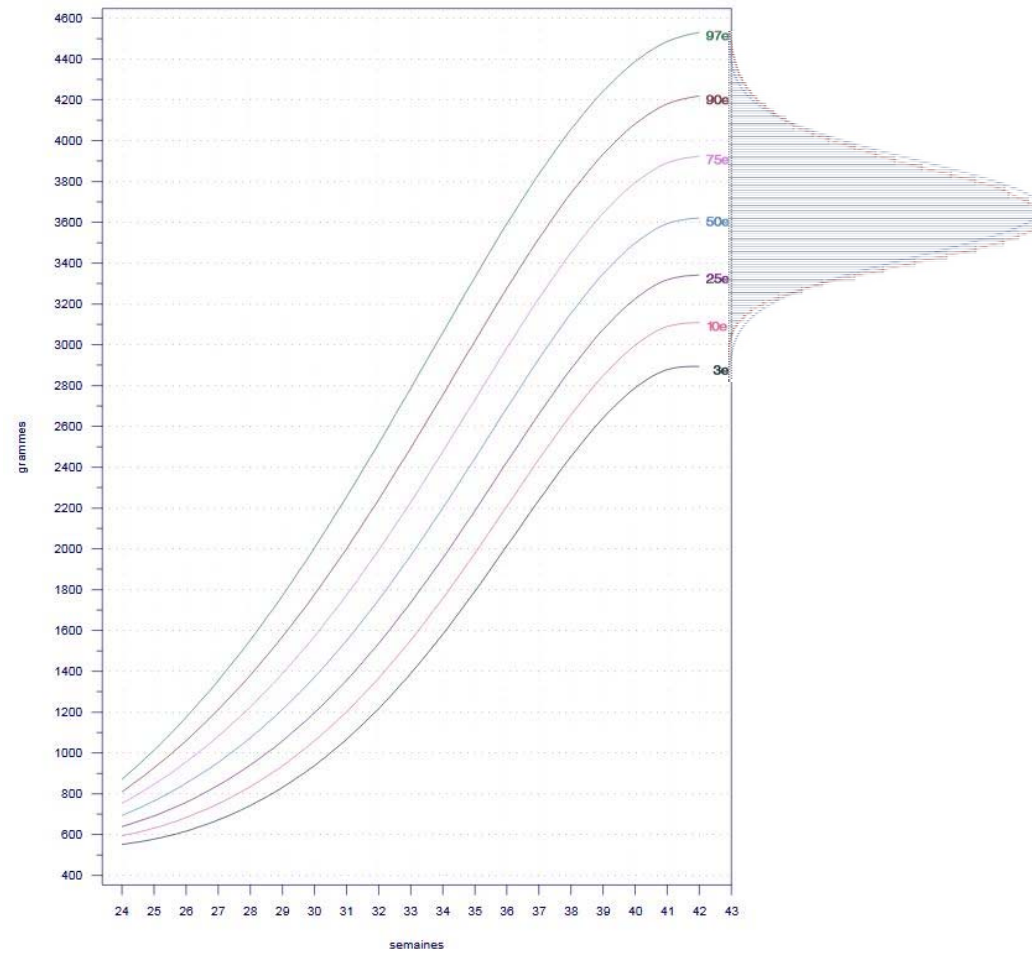
« Interpolation » par  
régression polynomiale

... sur (au moins) l'AG





# Les courbes de naissance (e.g. AUDIPOG)





# Les courbes de croissance fœtale (... Hadlock ...)

## Principe

**Hadlock et al. 1984 : Concept « d'estimation du poids fœtal »**

**N = 167 fœtus vivants**

**... avec biométries fœtales (PA, PC, LF, BIP)**

**... « contemporaine » de l'accouchement**

**... modélisation linéaire**

**... puis extension sur toute la période prénatale**

**Hypothèses**

**... extrapolation valide**

**Conséquences : nombreux modèles (1985, 1991), numérotés !...**

**La régression sur l'AG donne une courbe de croissance du « poids » fœtal**



# Le « poids fœtal estimé » (... Hadlock ...)

## Hadlock et al. 1984

Biométries fœtales	Equations
PA	$\text{Log}_{10} \text{ BW} = 2.695 + 0.253 * \text{AC} - 0.00275 * \text{AC}^2$
BIP, PA	$\text{Log}_{10} \text{ BW} = 1.1134 + 0.05845 * \text{PA} - 0.000604 * \text{PA}^2 + 0.007365 * \text{BIP}^2 + 0.000595 * \text{BIP} * \text{PA} + 0.1694 * \text{BIP}$
PC, PA	$\text{Log}_{10} \text{ BW} = 1.182 + 0.0273 * \text{PC} + 0.07057 * \text{PA} - 0.00063 * \text{PA}^2 - 0.0002184 * \text{PC} * \text{PA}$
PA, LF	$\text{Log}_{10} \text{ BW} = 1.3598 + 0.051 * \text{PA} + 0.1844 * \text{LF} - 0.0037 * \text{PA} * \text{LF}$
BIP, PA, LF	$\text{Log}_{10} \text{ BW} = 1.4787 - 0.003343 * \text{PA} * \text{LF} + 0.001837 * \text{BIP}^2 + 0.0458 * \text{PA} + 0.158 * \text{LF}$
PC, PA, LF	$\text{Log}_{10} \text{ BW} = 1.5662 - 0.0108 * \text{PC} + 0.0468 * \text{PA} + 0.171 * \text{LF} + 0.00034 * \text{PC}^2 - 0.003685 * \text{PA} * \text{LF}$
BIP, PA, PC, LF	$\text{Log}_{10} \text{ BW} = 1.5115 + 0.0436 * \text{PA} + 0.1517 * \text{LF} - 0.00321 * \text{PA} * \text{LF} + 0.0006923 * \text{BIP} * \text{PC}$
BW en g / Biométries en cm	

## Hadlock et al. 1985

Biométries fœtales	Equations
PA, LF	$\text{Log}_{10} \text{ BW} = 1.304 + 0.05281 * \text{PA} + 0.19838 * \text{LF} - 0.004 * \text{PA} * \text{LF}$
BIP, PA, LF	$\text{Log}_{10} \text{ BW} = 1.335 + 0.0034 * \text{AC} * \text{FL} + 0.316 * \text{BIP} + 0.0457 * \text{PA} + 0.1623 * \text{LF}$
PC, PA, LF	$\text{Log}_{10} \text{ BW} = 1.326 - 0.00326 * \text{PA} * \text{LF} + 0.0107 * \text{PC} + 0.0438 * \text{AC} + 0.158 * \text{LF}$
BIP, PC, PA, LF	$\text{Log}_{10} \text{ BW} = 1.3596 - 0.00386 * \text{PA} * \text{LF} + 0.0064 * \text{PC} + 0.00061 * \text{BIP} * \text{PA} + 0.0424 * \text{PA} + 0.174 * \text{LF}$
BW en g / Biométries en cm	



... et d'autres ...

- Hadlock et al (1984)**
- Hadlock et al (1985)**
- Weiner et al (1985)**
- Shinozuka N et al (1985)**
- Denhez-Eboue (1990)**
- Cambell and wilkin (1975)**
- Warsof et al (1977)**
- Shepard and al (1982)**
- Thuman et al (1993)**
- Jordaan (1983)**
- Weinberger et al (1984)**
- Woo et al (1985)**
- Woo Js, Wan MC (1986)**

		BIP	PC	PA	LF	DAT*	DAAP*	SAT*
Hadlock et al (1984)	M1			X	X			
	M2	X	X	X	X			
	M3		X	X	X			
Hadlock et al (1985)	M1		X	X	X			
	M2	X	X	X	X			
	M3	X		X	X			
Weiner et al (1985)	M4			X	X			
			X	X	X			
Shinozuka N et al (1985)	M1	X		X	X			
	M2	X			X	X	X	
Bouton DENHEZ-EBOUE (1990)	M1	X			X	X		
	M2	X						X
Cambell and wilkin (1975)				X				
Warsof et al (1977)	M1			X				
	M2	X		X				
Shepard and al (1982)	M1	X		X				
	M2	X		X				
Thuman et al (1993)		X		X				
Jordaan (1983)			X	X				
Weinberger et al (1984)		X		X				
Woo et al (1985)	M1	X		X				
	M2			X	X			
Woo Js, Wan MC (1986)		X		X	X			
Auteur non identifié					X	X		

\* Biométries calculées

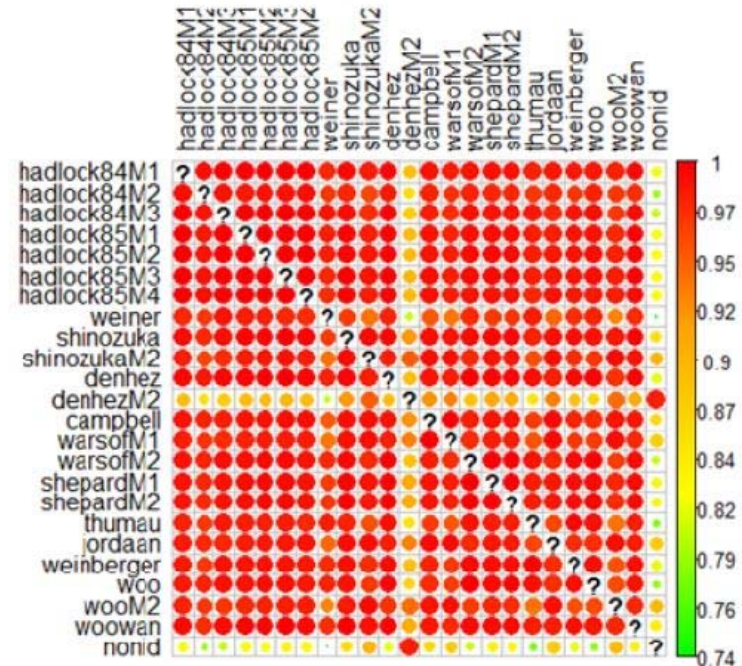
$DAT = DAAP = \frac{PA}{n}$  et  $SAT = \frac{PA^2}{4n}$





# ... plus ou moins concordants ...

$\text{Log}_{10} \text{EPF} = 1.3598 + 0.051 \cdot \text{PA} + 0.1844 \cdot \text{LF} - 0.0037 \cdot \text{PA} \cdot \text{LF}$   
 $\text{Log}_{10} \text{EPF} = 1.5115 + 0.0438 \cdot \text{PA} + 0.1517 \cdot \text{LF} + 0.0008923 \cdot \text{BIP} \cdot \text{PC} + 0.00321 \cdot \text{PA} \cdot \text{LF}$   
 $\text{Log}_{10} \text{EPF} = 1.5662 - 0.0108 \cdot \text{PC} + 0.00034 \cdot \text{PC}^2 + 0.0468 \cdot \text{PA} + 0.171 \cdot \text{LF} - 0.003685 \cdot \text{PA} \cdot \text{LF}$   
 $\text{Log}_{10} \text{EPF} = 1.326 + 0.0107 \cdot \text{PC} + 0.0438 \cdot \text{PA} + 0.158 \cdot \text{LF} - 0.00326 \cdot \text{PA} \cdot \text{LF}$   
 $\text{Log}_{10} \text{EPF} = 1.3596 + 0.0064 \cdot \text{PC} + 0.0424 \cdot \text{PA} + 0.174 \cdot \text{LF} + 0.00061 \cdot \text{BIP} \cdot \text{PA} - 0.00386 \cdot \text{PA} \cdot \text{LF}$   
 $\text{Log}_{10} \text{EPF} = 1.335 + 0.0316 \cdot \text{BIP} + 0.0457 \cdot \text{PA} + 0.1623 \cdot \text{LF} - 0.0034 \cdot \text{PA} \cdot \text{LF}$   
 $\text{Log}_{10} \text{EPF} = 1.304 + 0.0528 \cdot \text{PA} + 0.1938 \cdot \text{LF} - 0.004 \cdot \text{PA} \cdot \text{LF}$   
 $\text{Log}_{10} \text{EPF} = 1.6961 + 0.02253 \cdot \text{PC} + 0.01645 \cdot \text{PA} + 0.06439 \cdot \text{LF}$   
 $\text{EPF} = 1.07 \cdot \text{BIP}^2 + 0.30 \cdot \text{PA}^2 \cdot \text{LF}$   
 $\text{EPF} = 1.07 \cdot \text{BIP}^2 + 3.42 \cdot \text{DAAP} \cdot \text{DAT} \cdot \text{LF}$   
 $\text{EPF} = (\text{BIP})^{2.72} \cdot (\text{DAT})^{1.742} \cdot (\text{LF})^{2.287} \cdot (10)^{-2.447}$   
 $\text{EPF} = 2 \cdot [(\text{BIP}^2 + (10 \cdot \text{SAT})^{2.2})]$   
 $\text{LN EPF} = (-4.564 + 0.282 \cdot \text{PA} - 0.00331 \cdot \text{PA}^2) \cdot 1000$   
 $\text{Log}_{10} \text{EPF} = -1.8367 + 0.092 \cdot \text{PA} - 0.019/1000 \cdot \text{PA}^2$   
 $\text{Log}_{10} \text{EPF} = -1.599 + 0.144 \cdot \text{BIP} + 0.032 \cdot \text{PA} - 0.111/1000 \cdot \text{BIP}^2 \cdot \text{PA}$   
 $\text{Log}_{10} \text{EPF} = -1.7492 + 0.166 \cdot \text{BIP} + 0.046 \cdot \text{PA} - 2.646/1000 \cdot \text{BIP} \cdot \text{PA}$   
 $\text{Log}_{10} \text{EPF} = 1.25 - 0.00265 \cdot \text{BIP} \cdot \text{PA} + 0.046 \cdot \text{PA} + 0.166 \cdot \text{BIP}$   
 $\text{EPF} = -299.076 + 9.337 \cdot \text{BIP} \cdot \text{PA}$   
 $\text{Log}_{10} \text{EPF} = 0.9119 + 0.0488 \cdot \text{PC} + 0.0824 \cdot \text{PA} - 0.001599 \cdot \text{PC} \cdot \text{PA}$   
 $\text{EPF} = -481 + 10.1 \cdot \text{BIP} \cdot \text{PA}$   
 $\text{Log}_{10} \text{EPF} = 1.63 + 0.16 \cdot \text{BIP} + 0.00111 \cdot \text{PA}^2 - 0.0000859 \cdot \text{BIP} \cdot \text{PA}^2$   
 $\text{Log}_{10} \text{EPF} = 0.59 + 0.08 \cdot \text{PA} + 0.28 \cdot \text{LF} - 0.00716 \cdot \text{PA} \cdot \text{LF}$   
 $\text{EPF} = 1.4 \cdot \text{BIP} \cdot \text{PA} \cdot \text{LF} - 200$   
 $\text{EPF} = 47.3 \cdot \text{DAT} + 39.7 \cdot \text{LF} - 4155$





... et des références françaises...

## **Courbes de Salomon**

**LJ Salomon et al (2007)**

## **Courbes du CFEF**

**Massoud et al (2016)**

## **Courbes EPOPés (CNGOF)**

**A Ego et al (2016)**



... et internationales...

## InterGrowth\_21ST

### Standard mondial

- ... avec des critères d'inclusion très strictement contrôlés
- ... vis-à-vis de l'absence  
de marqueurs/facteurs de morbidité  
de survenue de morbidité

### Dans le but de proposer un STANDARD

- ... de la croissance attendue
- ... dans les meilleures conditions possibles

Concept de courbes « prescriptives » - « how the fetus should grow »

## Résultats - Outils

### Equations Standard des moyennes et SD de

- ... HC, BD, OD, AC et FL
- ... en fonction de l'AG





## Les équations

Déterminées par AG (14 à 41 SA)

```
/* hc = Head Circumference : unity */
hc_m = -28.28490      + 1.6926700*ga**2   - 0.39748500*ga**2*log(ga);
hc_s =  1.98735      + 0.0136772*ga**3   - 0.00726264*ga**3*log(ga) + 0.000976253*ga**3*(log(ga))**2;
/* bd = Biparietal Diameter : unity */
bd_m =  5.60878      + 0.15836900*ga**2   - 0.002563790*ga**3;
bd_s = exp(0.101242  + 0.00150557*ga**3   - 0.000771535*ga**3*log(ga) + 0.0000999638*ga**3*(log(ga))**2);
/* od = Occipitofrontal Diameter : unity */
od_m = -12.4097      + 0.6263420*ga**2   - 0.1480750*ga**2*log(ga);
od_s = exp(-0.880034 + 0.0631165*ga**2   - 0.0317136*ga**2*log(ga) + 0.00408302*ga**2*(log(ga))**2);
/* ac = Abdominal Circumference : unity */
ac_m = -81.3243      + 11.67720*ga      - 0.000561865*ga**3;
ac_s = -4.36302      + 0.121445*ga**2   - 0.013025600*ga**3      + 0.00282143*ga**3*log(ga);
/* fl = Femur Length : unity */
fl_m = -39.9616      + 4.32298*ga      - 0.03801560000*ga**2;
fl_s = exp(0.605843  - 42.0014/ga**2   + 0.00000917972*ga**3);
```

... une tentation ... simuler !...

Les biométries échogr. (déterminées pour l'AG de 14 à 41 SA)  
... les synthétiser en EFW par Hadlock (3 param.)

$$EFW = 10^{(1.326 - 0.00326*AC*FL + 0.0107*HC + 0.0438*AC + 0.158*FL)};$$



...pourquoi ne pas confronter les 2 types de courbes ?

## 1 – générer[HC, BD, OD, AC et FL] = InterGrowth\_21st(AG)

Rand('Normal',mean,sd) de SAS®

## 2 – synthétiser par EFW = Hadlock(HC, BD, OD, AC et FL)

Hadlock (1985) à 3 paramètres Hadlock(HC, AC t FL)

- ... pour le prix → 100 000 fœtus,
- ... mesurés toutes semaines,
- ... de 14 à 41 SA

## 3 – idem avec AUDIPOG - générer[PdN] = AUDIPOG(AG)

```
/* poids de naissance selon AUDIPOG pdn pdn_m pdn_s */  
pdn_m = [red box] *ga [red box] *ga**2 [red box] *ga**3;  
pdn_s = [red box] *ga [red box] *ga**2 [red box] *ga**3;  
pdn = exp(pdn_m + rand('Normal') *pdn_s);  
if pdn_s <= 0 then pdn = .;  
if ga < 24 then do;  
    pdn_m = .;  
    pdn_s = .;  
    pdn = .;  
end;
```

... mêmes doses !...



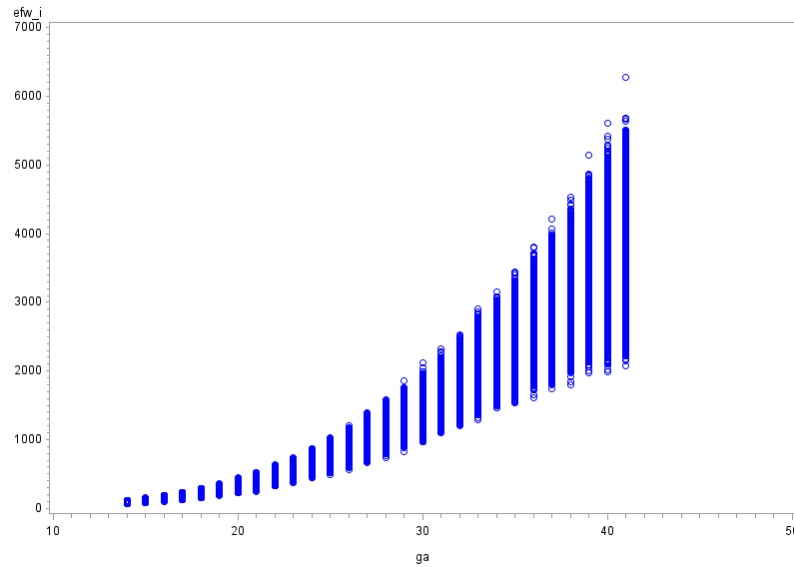
# Création de données synthétiques InterGrowth\_21st

EFW\_i

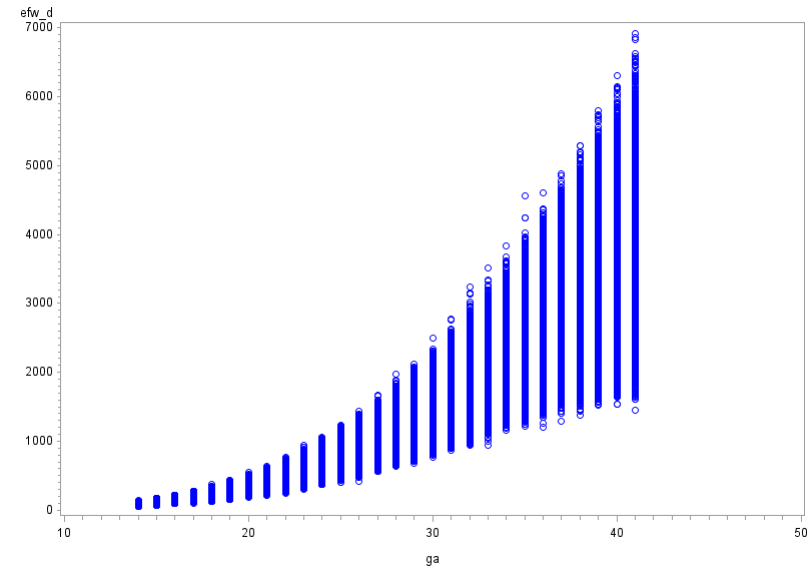
ou

EFW\_d ?...

efw\_i by ga for all



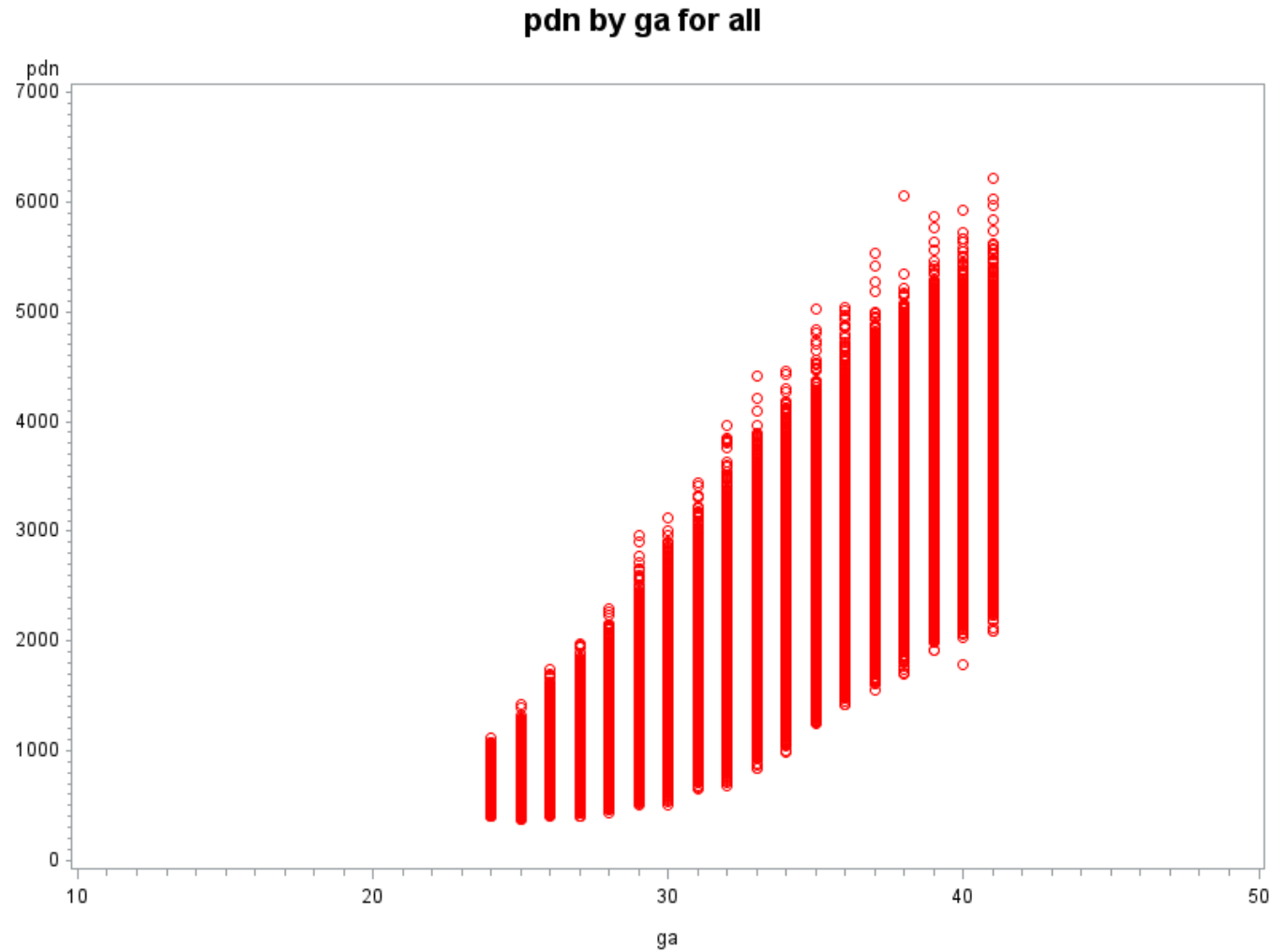
efw\_d by ga for all





# Création de données synthétiques Audipog

## PdN

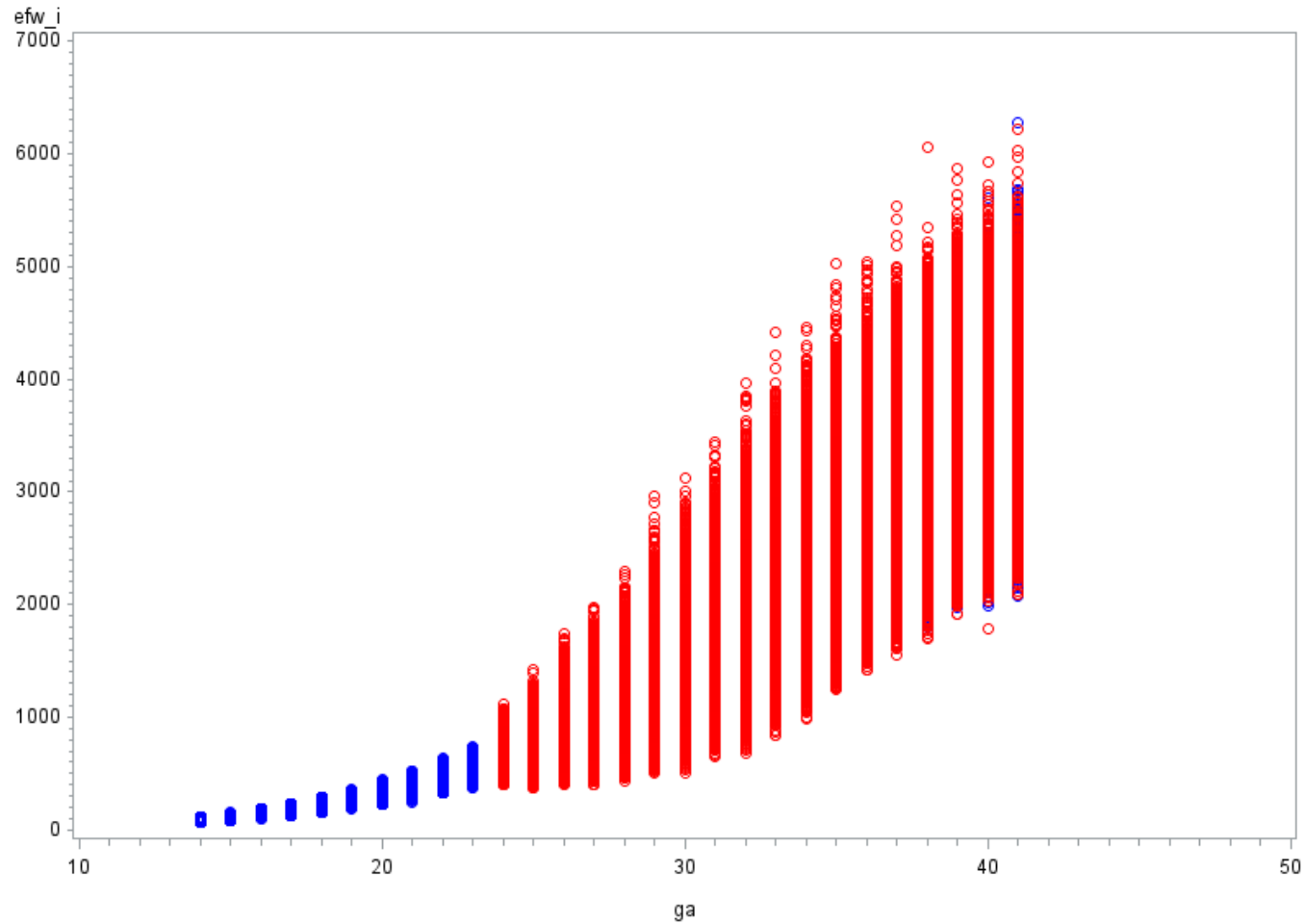




# Confrontation et analyse (1)

## EFW\_i versus PdN

efw\_i pdn by ga for all

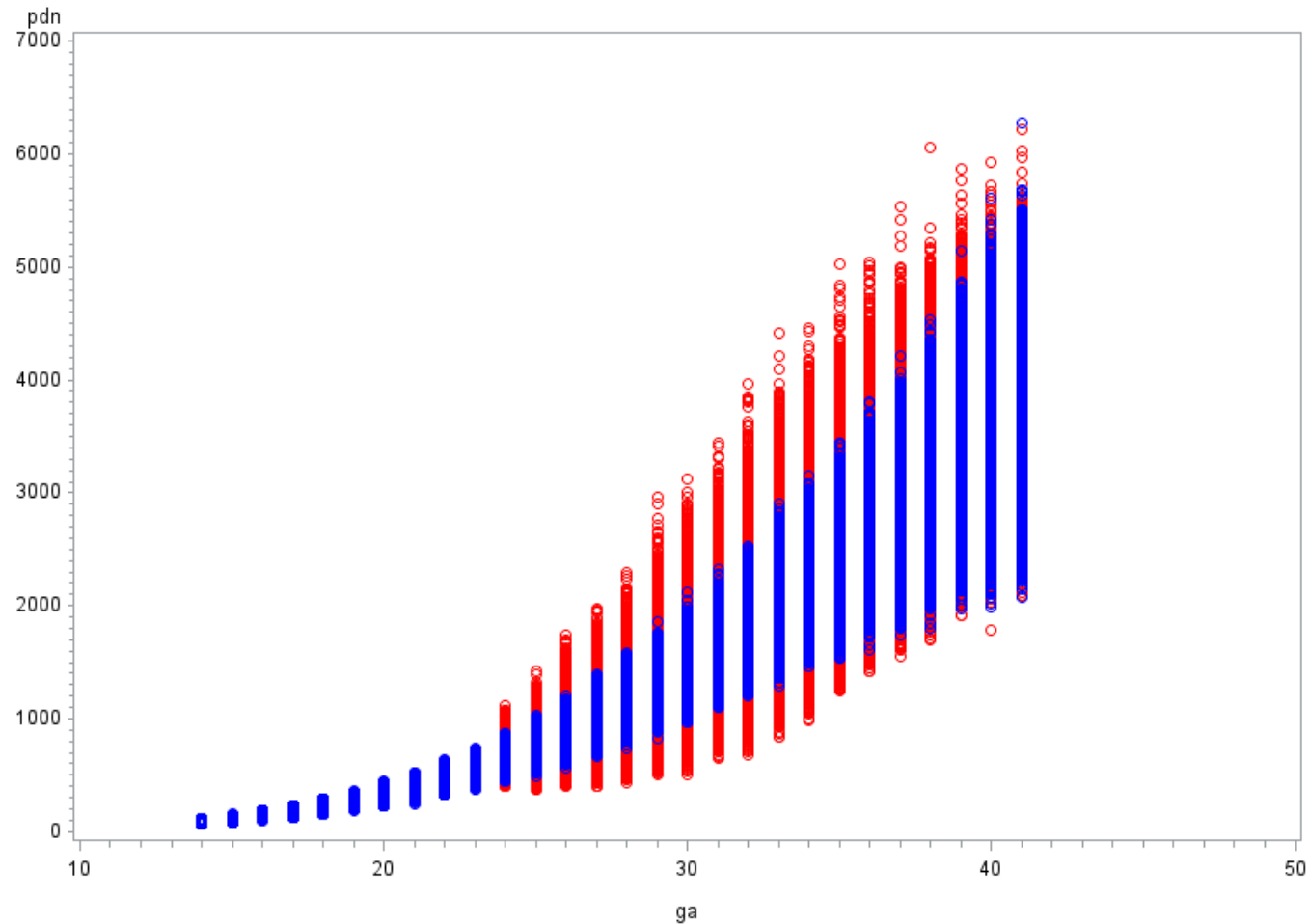




# Confrontation et analyse (2)

## PdN versus EFW\_i

pdn efw\_i by ga for all

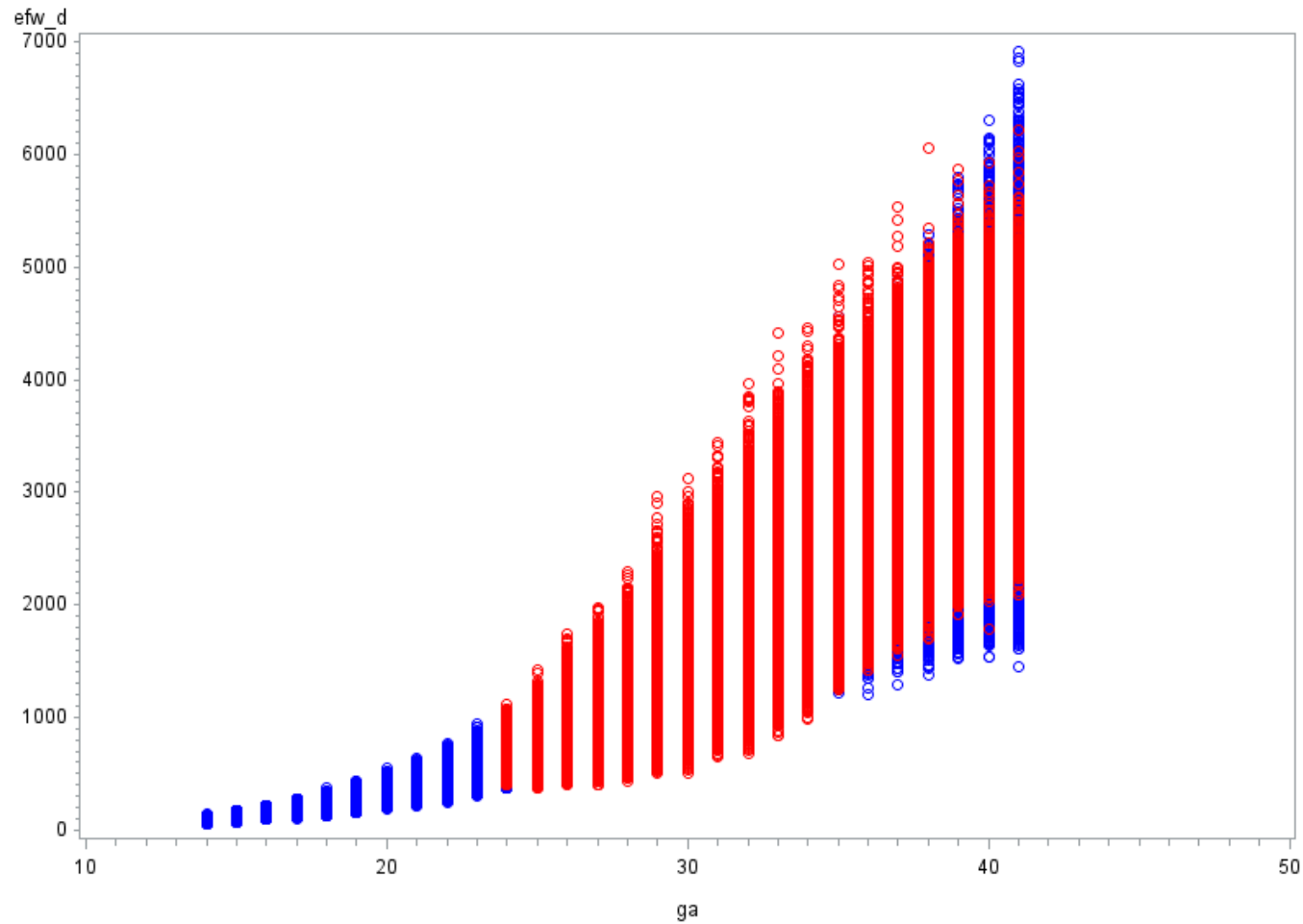




# Confrontation et analyse (3)

## EFW\_d versus PdN

efw\_d pdn by ga for all

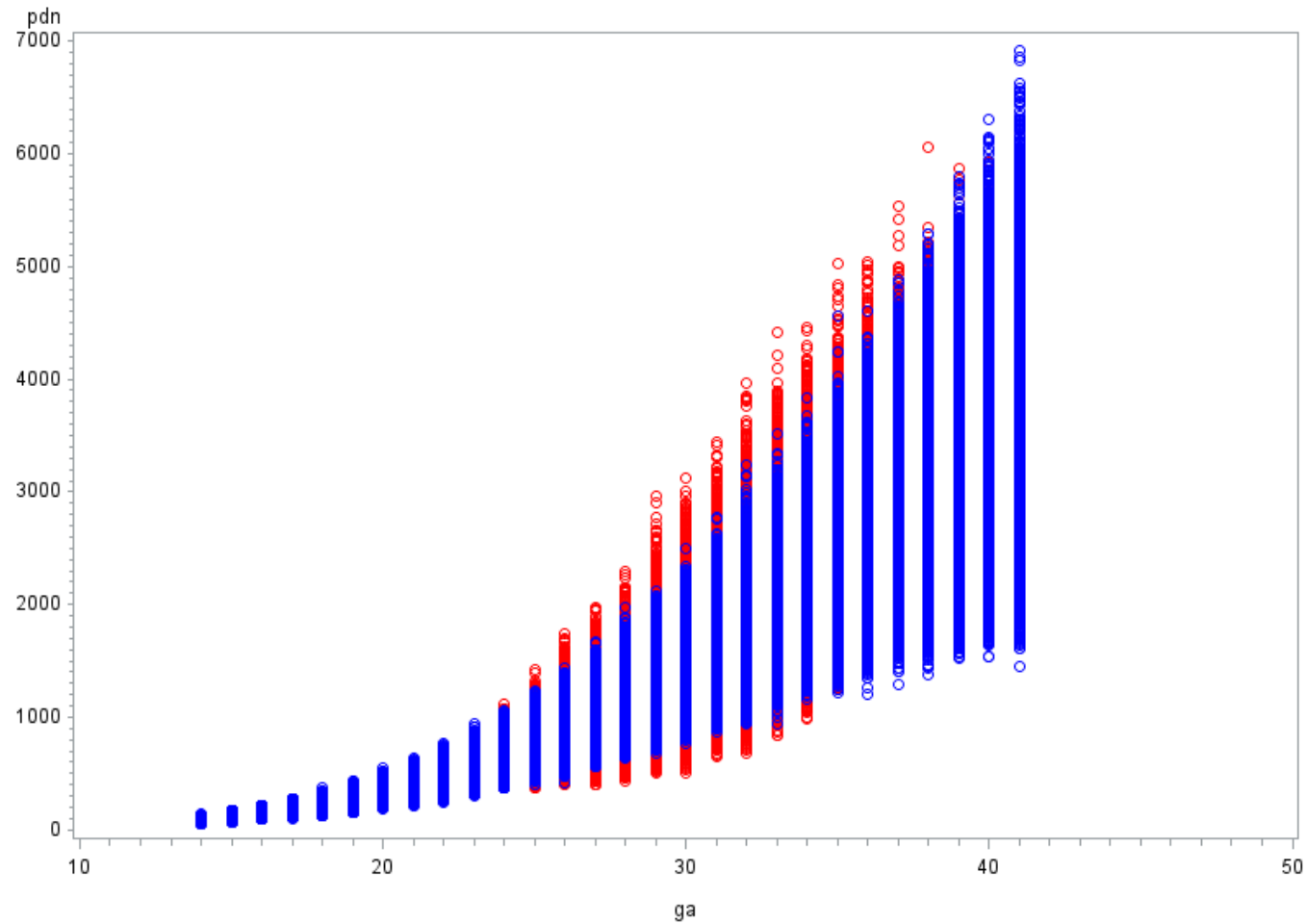




# Confrontation et analyse (4)

## PdN versus EFW\_d

pdn efw\_d by ga for all







## Confrontation et analyse (5)

### Tracés conjoints des $Pc_{10}$ et $Pc_{90}$ en fonction de l'AG

Confirmation des relations d'ordre quant l'étendue

### Tracés Deltas ( $Pc_{10}$ et $Pc_{90}$ ) en fonction de l'AG

Simplification du message

... avec les limites de bascules en termes d'AG

### Tracés des frontières de partition

Pour quantifier les mauvaises décisions

... car il faut attendre de « plonger » une distribution de (EFW/PdN)

... pour mesurer les effets en termes

... de fausses alertes

... de loupés

A moduler par la dimension médico-économique



## Conclusions... Provisoires !

### Comme le Point de Vue du statisticien cette présentation n'est pas arrêtée...

L'approche est séduisante ... elle mérite d'être très améliorée  
... choix des courbes candidates  
... modélisation de l'allométrie/asymétrie ?...

### Faut-il renoncer à utiliser indistinctement les 2 courbes...

Oui, si les seuils de décisions sont identiques  
... pas forcément si les seuils sont adaptés  
... préserver le principe du « KIS »

La vérité est sans doute ailleurs... que cherche-t-on à prédire ?  
Un outil d'aide à la décision... doit préciser les enjeux

...

**Bayes ! Au secours !**



Savoir choisir sa courbe de poids foetal ou néonatal

Estimation du poids foetal ou néonatal  
Peut-on utiliser la même courbe ?  
Le point de vue d'un naif

# Merci pour votre attention

Lemlih OUCHCHANE (MD – PhD)  
Institut Pascal – CNRS 6602  
Axe Image Guided Therapy  
Groupe DeciSiPH : Aide à la Décision en Santé Périnatale

