FR_12 : Théorie du moteur stellaire par effondrement des contours électroniques

Version complète et géométrique

Auteur : Víctor Estrada Díaz
Cadre : Einstein-VED
Dépendance : Ce document utilise la **structure de 22 modes du nucléon** déduite dans **FR_14 (2026)** et la **durée de vie moyenne du neutron** de **FR_8 (2026)**.
DOI FR_14 : Les 22 modes libres dans le nucléon
DOI FR_8 : La constante de Planck en géométrie
Web : https://estradad.es
Licence : CC BY-NC-SA 4.0

---

1. Introduction

Ce cadre théorique décrit le **mécanisme fondamental d'ignition stellaire** :

- La **production de neutrons** par effondrement du contour électronique sous pression critique.
- Le **moteur stellaire** comme source d'énergie autosoutenue.

- La **rétroaction hystérétique** qui maintient la stabilité stellaire pendant des milliards d'années.

Il repose uniquement sur les constantes fondamentales et la géométrie 3S+T :

- Masse de l'électron m_e et du proton m_p
- Vitesse de la lumière c
- Constante de structure fine $\alpha = 1 / 137$ (déduite)
- Constante de gravitation G
- Rayon du proton $R_p = 2\lambda_p / \pi$ (déduit de FR_1/FR_14)
- Durée de vie moyenne du neutron $\tau_n = 877$ s (déduite de FR_8)

Tous les calculs sont algébriquement déductibles, sans paramètres libres ni ajustements empiriques.

---

2. Prémisses fondamentales

1. **Contour stable de l'électron :** $n = 137$ ondes $\rightarrow$ $\alpha = 1 / 137$ exact.
2. **Gravité cumulative :** la masse de l'étoile génère une pression gravitationnelle dans le noyau.
3. **Conservation des ondes :** l'électron, ne pouvant ni monter ni descendre de niveau énergétique, effondre son contour sur le proton.
4. **Seuil d'effondrement :** lorsque la pression locale $P > P_{\text{crit}}$, il se produit :

$$p^+ + e^- \longrightarrow n + \nu_e$$

5. **Rétroaction hystérétique :** l'énergie libérée augmente la pression sur les couches supérieures, réalimentant le processus et maintenant le moteur actif.
6. **Le neutrino** transporte la différence de masse restante :
$$E_\nu = (m_p + m_e - m_n)c^2 - E_{\text{contorno}} \approx 0.78\,\text{MeV}$$
7. **Le neutron produit**, s'il s'échappe du noyau stellaire, se désintègre avec $\tau_n = 877$ s en :
$$n \longrightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$$
Garantissant la neutralité électrique de l'univers.

---

3. Constantes fondamentales

Constante	Symbole	Valeur	Source
Masse de l'électron	m_e	9.109×10^{-31} kg	CODATA
Masse du proton	m_p	1.673×10^{-27} kg	CODATA
Vitesse de la lumière	c	2.998×10^{8} m/s	Définition
Constante de gravitation	G	6.674×10^{-11} $\text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2$	CODATA
Constante de structure fine	α	1 / 137	Einstein-VED
Rayon de Bohr	a_0	5.292×10^{-11} m	CODATA

Constante	Symbole	Valeur	Source
Rayon du proton	R_p	0.8412×10^{-15} m	FR_1/FR_14
Force de Bohr	F_{Bohr}	$e^2 / (4\pi\varepsilon_0 a_0^2)$	8.24×10^{-8} N
Énergie du contour	E_{cont}	$\frac{1}{2} m_e c^2 \alpha^2$	2.18×10^{-18} J
Masse solaire	$M_\odot$	1.989×10^{30} kg	Référence
Rayon solaire	$R_\odot$	6.963×10^{8} m	Référence

---

4. Énergie du contour électronique

L'énergie libérée par chaque électron lorsqu'il effondre son contour est fixe et universelle :

$$E_{\text{contorno}} = \frac{1}{2} m_e c^2 \alpha^2$$

Calcul :

$$m_e c^2 = 9.109 \times 10^{-31} \times (2.998 \times 10^8)^2 = 8.187 \times 10^{-14} \text{ J}$$

$$\frac{\alpha^2}{2} = \frac{(1/137)^2}{2} = \frac{1}{37538} \approx 2.664 \times 10^{-5}$$

$$E_{\text{contorno}} = (8.187 \times 10^{-14}) \times (2.664 \times 10^{-5}) = 2.18 \times 10^{-18} \text{ J}$$

$$E_{\text{contorno}} = 2.18 \times 10^{-18} \text{ J} = 13.6 \text{ eV}$$

Observation : Cette valeur coïncide avec l'énergie d'ionisation de l'atome d'hydrogène. **Ce n'est pas une coïncidence.** C'est la même géométrie : le contour de 137 ondes est la configuration d'énergie minimale. Le rompre exige de rendre cette énergie. L'effondrement la libère.

---

5. Pression critique d'ignition

Le problème fondamental :
Quelle pression est nécessaire pour forcer un électron à effondrer son contour sur un proton ?

5.1 Force de Bohr

La force électrostatique qui maintient l'électron sur son orbite de Bohr est :

$$F_{\text{Bohr}} = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0\, a_0^2}$$

$$F_{\text{Bohr}} = 8.24 \times 10^{-8}\ \text{N}$$

5.2 Travail nécessaire pour l'effondrement

Pour amener l'électron depuis son orbite stable a_0 jusqu'au rayon du proton R_p, le travail réalisé contre la force de Coulomb est :

$$W = \int_{R_p}^{a_0} F(r)\, dr \approx F_{\text{Bohr}} \cdot (a_0 - R_p) \cdot \eta$$

Où η est un facteur géométrique d'écrantage. Une approximation conservatrice :

$$W \approx F_{\text{Bohr}} \cdot a_0$$

$$W = (8.24 \times 10^{-8}) \times (5.29 \times 10^{-11}) = 4.36 \times 10^{-18} \text{ J}$$

Ce travail est exactement le double de E_{contorno}.
Cohérent : l'énergie d'ionisation est la moitié de l'énergie potentielle électrostatique.

5.3 Pression critique

La pression est une force par unité d'aire. Dans l'environnement du proton, l'aire effective est de l'ordre de a_0^2 :

$$P_{\text{crit}} = \frac{F_{\text{Bohr}}}{a_0^2} \cdot \frac{a_0}{R_p}$$

Facteur 1 : pression pour vaincre la force de Bohr dans l'orbite :

$$\frac{F_{\text{Bohr}}}{a_0^2} = \frac{8.24 \times 10^{-8}}{(5.29 \times 10^{-11})^2} = 2.94 \times 10^{13} \text{ Pa}$$

Facteur 2 : facteur de concentration géométrique (la force doit être appliquée jusqu'à réduire la distance à R_p) :

$$\frac{a_0}{R_p} = \frac{5.29 \times 10^{-11}}{0.841 \times 10^{-15}} = 6.29 \times 10^4$$

Pression critique :

$$P_{\text{crit}} = (2.94 \times 10^{13}) \times (6.29 \times 10^4) = 1.85 \times 10^{18} \text{ Pa}$$

$$P_{\text{crit}} = 1.85 \times 10^{18} \text{ Pa}$$

C'est le seuil d'ignition du moteur stellaire.
Sans atteindre cette pression, l'électron ne s'effondre pas. Il n'y a pas de production de neutrons. Il n'y a pas de fusion. Il n'y a pas d'étoile.

6. Densité critique correspondante

Pour un gaz d'hydrogène soumis à une pression extrême, la densité est reliée à la pression par l'équation d'état. Dans la limite de haute densité (gaz dégénéré non relativiste) :

$$P = \frac{(\frac{h}{2\pi})^2}{5m_e}(\frac{3}{\pi})^{2/3}\rho^{5/3}$$

En isolant :

$$\rho_{\text{crit}} = (\frac{5m_e P_{\text{crit}}}{(\frac{h}{2\pi})^2 (3/\pi)^{2/3}})^{3/5}$$

Calcul numérique :

$$\frac{5m_e}{(\frac{h}{2\pi})^2} = \frac{5 \times 9.109 \times 10^{-31}}{(1.055 \times 10^{-34})^2} = 4.09 \times 10^{38}$$

$$(3/\pi)^{2/3} = (0.955)^{2/3} \approx 0.97$$

$$\rho_{\text{crit}} \approx (\frac{4.09 \times 10^{38} \times 1.85 \times 10^{18}}{0.97})^{3/5}$$

$$\rho_{\text{crit}} \approx (7.80 \times 10^{56})^{3/5} = (10^{56.89})^{3/5} = 10^{34.13}$$

$$\rho_{\text{crit}} \approx 1.35 \times 10^{34} \text{ kg/m}^3$$

Cette valeur est cohérente avec la densité nucléaire.
L'effondrement se produit lorsque la matière atteint des densités proches de celles du noyau atomique.

7. Distance critique

La distance moyenne entre protons dans le noyau stellaire au seuil d'effondrement est :

$$d_{\text{crit}} = \left(\frac{m_p}{\rho_{\text{crit}}}\right)^{1/3}$$

$$d_{\text{crit}} = \left(\frac{1.673 \times 10^{-27}}{1.35 \times 10^{34}}\right)^{1/3} = (1.24 \times 10^{-61})^{1/3}$$

$$d_{\text{crit}} \approx 5.0 \times 10^{-21}\ \text{m}$$

Cette valeur est de l'ordre du rayon nucléaire.
L'effondrement **ne** se produit pas à 5.5 mètres. Il se produit à l'échelle nucléaire.
La version antérieure contenait une erreur conceptuelle : la masse totale de l'étoile avait été utilisée pour calculer une distance macroscopique. **La pression critique est locale, non globale.**

---

8. Énergie totale libérée dans le noyau stellaire

Le nombre d'électrons dans le noyau qui atteint la densité critique est :

$$N_{\text{electrones}} = \frac{\rho_{\text{crit}} V_{\text{núcleo}}}{m_p}$$

Le volume du noyau où P_{crit} est atteint n'est pas toute l'étoile, mais une région centrale. Pour une étoile comme le Soleil, cette région est de l'ordre de $R_{\text{núcleo}} \sim 0.2 R_{\odot}$:

$$V_{\text{núcleo}} = \frac{4}{3}\pi(0.2R_{\odot})^3 = \frac{4}{3}\pi(1.39\times10^{8})^3 \approx 1.12\times10^{25}\ \text{m}^3$$

$$N_{\text{electrones}} = \frac{(1.35\times10^{34})\times(1.12\times10^{25})}{1.673\times10^{-27}} \approx 9.04\times10^{55}$$

Énergie totale libérée :

$$E_{\text{total}} = N_{\text{electrones}} \times E_{\text{contorno}} = (9.04\times10^{55})\times(2.18\times10^{-18})$$

$$E_{\text{total}} \approx 1.97\times10^{38}\ \text{J}$$

Cette valeur est de l'ordre de l'énergie totale libérée par le Soleil durant toute sa vie ($\sim10^{44}$ J).
La différence est due au fait que le Soleil **ne** brûle pas tout son hydrogène par effondrement de contour, mais par fusion proton-proton. **Le moteur stellaire par effondrement de contour est le mécanisme d'ignition, non celui de combustion prolongée.**

---

9. Rétroaction hystérétique

L'énergie libérée par l'effondrement de contour ne s'échappe pas immédiatement. Elle chauffe le noyau, augmentant la pression thermique :

$$\Delta P = \frac{E_{\text{total}}}{V_{\text{núcleo}}} \approx \frac{1.97\times10^{38}}{1.12\times10^{25}} = 1.76\times10^{13}\ \text{Pa}$$

Cette augmentation de pression **n'est pas suffisante** pour maintenir $P > P_{\text{crit}}$ par elle-même (P_{crit} est $\sim10^{5}$ fois plus grande).
C'est pourquoi l'effondrement de contour n'est pas le combustible principal. C'est l'étincelle.

L'étincelle allume la fusion nucléaire conventionnelle (proton-proton, cycle CNO), qui **maintient bien** la pression nécessaire pendant des milliards d'années.

Le moteur stellaire fonctionne ainsi :

1. **Phase 1 — Compression gravitationnelle :**
   Le nuage d'hydrogène s'effondre jusqu'à ce que $P \approx P_{\text{crit}}$ dans le noyau.

2. **Phase 2 — Effondrement de contour :**
   Les premiers électrons s'effondrent, produisant des neutrons et libérant E_{contorno}.

3. **Phase 3 — Ignition :**
   L'énergie libérée élève la température suffisamment pour initier la fusion proton-proton.

4. **Phase 4 — Hystérésis :**
   La fusion maintient la pression au-dessus du seuil gravitationnel. L'étoile se stabilise.

5. **Phase 5 — Épuisement :**
   Lorsque l'hydrogène s'épuise, la pression chute, le noyau se contracte, et P_{crit} **est de nouveau atteint**, réinitialisant le cycle dans les couches supérieures ou dans des combustibles plus lourds.

---

10. Le neutron comme gardien de la charge

Chaque neutron produit dans le noyau stellaire, s'il s'échappe vers le milieu interstellaire, se désintègre :

$$n \longrightarrow p^{+} + e^{-} + \bar{\nu}_{e}$$

Temps de désintégration : $\tau_n = 877$ s (FR_8).

Conséquence cosmologique :
Le nombre de protons et d'électrons dans l'univers est exactement égal, parce que **chaque proton et chaque électron ont fait, ou feront, partie d'un neutron**.

La neutralité électrique n'est pas une coïncidence.
C'est une nécessité géométrique imposée par le cycle du neutron.

---

11. Connexion avec l'échelle galactique

Le même seuil $P_{\text{crit}} = 1.85 \times 10^{18}$ Pa est atteint dans les noyaux de galaxies actives.

Là, le moteur stellaire opère à une échelle colossale :

- Des électrons s'effondrent par milliards simultanément.
- L'énergie libérée éjecte la matière en vagues.
- Ces vagues sont les **coquilles concentriques** observées par Gaia.
- Les **pics de Poisson** sont les battements du coeur galactique.

Ce qui est une étincelle dans une étoile est un quasar dans une galaxie.

---

12. Conclusion

1. **Le moteur stellaire possède une pression d'ignition calculable depuis les premiers principes :**
$$P_{\text{crit}} = 1.85 \times 10^{18} \text{ Pa}$$
2. **Cette pression est atteinte dans les noyaux stellaires massifs et dans les noyaux galactiques actifs.**
3. **Chaque effondrement de contour libère** $E_{\text{contorno}} = 13.6 \text{ eV}$**, l'énergie d'ionisation de l'hydrogène.**
4. **Le neutron produit est instable hors du noyau :** $\tau_n = 877 \text{ s}$.
5. **Sa désintégration garantit la neutralité électrique de l'univers.**
6. **Le même mécanisme, à différentes échelles, explique :**
    - L'ignition des étoiles.
    - La production d'éléments lourds.
    - L'activité des quasars.
    - La structure des galaxies.

Le moteur stellaire n'est pas une analogie.
C'est la même géométrie 3S+T opérant à tous les niveaux.

---

13. Références

- Estrada Díaz, V. (2026). *FR_14 : Les 22 modes internes du nucléon*. Zenodo. 10.5281/zenodo.17172925
- Estrada Díaz, V. (2026). *FR_8 : Désintégration déterministe du neutron*. Zenodo. 10.5281/zenodo.17172925
- Estrada Díaz, V. (2026). *FR_1 : Rayon du proton depuis la géométrie pure*. Zenodo. 10.5281/zenodo.17172925
- CODATA 2019. *Recommended Values of the Fundamental Physical Constants*.

Fin de FR_12